

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

Triple Play služby v sítích nové generace

**Triple Play Services in Optical NGA
(Next Generation Access) Networks**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Marejka**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika
Téma: Triple Play služby v sítích nové generace
Triple Play Services in Optical NGA (Next Generation Access) Networks

Zásady pro vypracování:

Sítě nové generace představují další vývojový skok v oblasti optických přístupových sítí. Cílem absolventské práce je studium problematiky jejich nasazení v praxi spolu s zákaznickými orientovanými službami Triple Play.

1. Popište problematiku optických přístupových sítí nové generace.
2. Popište grafické uživatelské prostředí WDM-PON Release 3 (podrobný návod pro nastavení parametrů do přílohy).
3. Popište objektivní metody pro měření kvality Triple Play služeb.
4. Proveďte měření kvality Triple Play služeb za simulovaného provozu WDM pasivní optické přístupové sítě (laboratorní podmínky).
5. Proveďte studii nasazení WDM-PON na stávající PON síť.
6. Proveďte vyhodnocení naměřených výsledků a výsledků studie.

Seznam doporučené odborné literatury:


PRAT, Josep. *Next-Generation FTTH Passive Optical Networks: Research towards unlimited bandwidth access*. Barcelona: Springer, 2008. 187 p. ISBN 978-1-4020-8469-0.

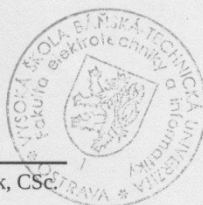
LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford: Elsevier Inc., 2007. 324 p. ISBN 978-0-12-373853-0.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 18.11.2011
Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

Dne: 07.05.2013


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce Ing. Petrovi Koudelkovi za odbornú pomoc, cenné pripomienky a konzultáciu pri vytváraní tejto diplomové práce. Ďakujem aj svojej rodine a priateľke.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá problematikou Triple Play služieb v optických prístupových sieťach novej generácie. V prvom bode sa zaoberám optickými prístupovými sieťami novej generácie, ich rozdelenie do jednotlivých skupín. V práci popisujem objektívne metódy pre meranie kvality Triple Play služieb. V praktickej časti som uskutočnil objektívne merania na službe IPTV. Použil som voľne šíriteľný program MSU Video Quality Measurement Tool. Kvalitu Triple Play služieb som meral pomocou štandardu EtherSAM ITU-T Y.1564. Následne som prešiel ku nasadeniu WDM-PON siete na stávajúcu sieť GePON. Pomocou spektrálneho analyzátoru som si overil funkčnosť navrhnutých topológií. Nakoniec som vyhodnotil namerané výsledky a zobrazil som ich v grafoch.

Kľúčové slova

Optická prístupová sieť, Triple Play, IPTV, VoIP, Dáta, OLT, ONT, WDM-PON, GePON, meranie kvality Triple Play služieb, PSNR, SSIM, MSE, siete novej generácie, PESQ, PSQM.

Abstract

This diploma thesis deals with Triple Play services in optical access networks of new generation. First part deals with optical next generation access networks, their division into separate groups. I describe objective methods for quality measurement of Triple Play services in this document. I made an objective measurement of the IPTV service in the practical part. I used a freeware program MSU Video Quality Measurement Tool. I measured Quality of Triple Play services using standard ITU-T Y.1564. Then I subsequently went to deploy WDM-PON network to the existing data center network GEAPON. Using a spectrum analyzer I verified the functionality of the proposed topologies. Finally, I evaluate the measured results and I display them in graphs.

Key words

Optical access network, Triple Play, IPTV, VoIP, Data, OLT, ONT, WDM-PON, GEAPON, measuring quality Triple Play services, PSNR, SSIM, MSE, next generation network, PESQ, PSQM.

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
QoS	Quality of Service	Kvalita služieb
VoIP	Voice over Internet Protocol	Internetová telefónia
VoD	Video on Demand	Video na vyžiadanie
OAN	Optical Access Network	Optická prístupová sieť
ODN	Optical Distribution Network	Optická distribučná sieť
AON	Active Optical Network	Aktívna prístupová sieť
PON	Passive Optical Network	Pasívna prístupová sieť
OLT	Optical Line Termination	Optické linkové zakončenie
ONU	Optical Network Unit	Optické ukončovacie jednotky
ONT	Optical Network Termination	Optické sieťové zakončenie
TDM	Time Division Multiplex	Časový multiplex
FDM	Frequency Division Multiplex	Frekvenčný multiplex
WDM	Wave Division Multiplex	Vlnový multiplex
PSTN	Public Switched Telephone Network	Telefónne siete
ISDN	Integrated Services Digital Network	Digitálne siete
NGN	Next Generation Network	Sieť novej generácie
IMS	IP Multimedia Subsystem	Aplikačné servery
SGW	Signalling Gateway	Signalizačná brána
WWDM	Wide Wavelength Division Multiplex	Široký vlnový multiplex
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex	Hrubý vlnový multiplex
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex	Hustý vlnový multiplex
UDP	User Datagram Protocol	Nespoľahlivý protokol
CQ	Conversational Quality	Konverzačná kvalita
LQ	Listening Quality	Posluchová kvalita

Obsah

1	Úvod	11
2	Optická prístupová sieť	12
2.1	Rozdelenie optických prístupových sietí.....	13
2.1.1	Bod - bod (Point to Point).....	13
2.1.2	Mnohobodové (Point to Multipoint).....	14
2.2	Základne prvky optickej pasívnej siete	14
2.3	Optické prístupové siete FTTx	15
2.4	Prenos optického signálu v prístupovej sieti	16
2.5	Aktívna optická prístupová sieť (AON)	17
2.6	Pasívna optická prístupová sieť (PON)	18
2.6.1	APON (Asynchronous Transfer Mode PON).....	19
2.6.2	BPON (Broadband PON)	19
2.6.3	GPON (Gigabit PON).....	20
2.6.4	EPON (Ethernet PON).....	20
3	Siete novej generácie NGA	23
3.1	Architektúra NGA	24
3.1.1	10GEPON (10 Gigabit Ethernet PON).....	25
3.1.2	XG-PON (X Gigabit PON).....	25
3.2	WDM-PON	27
3.2.1	Princíp WDM-PON	27
3.2.2	WWDM	28
3.2.3	CWDM	28
3.2.4	DWDM	29
3.2.5	Varianty WDM-PON.....	30
3.3	SPON (Super PON).....	33
3.4	L-R PON (Long Reach PON).....	34

4	Grafické prostredie WDM-PON Release 3	36
4.1	Spustenie WDM-PON Release 3.....	36
4.2	Vytvorenie sieťového správcu (NE Manager).....	37
4.3	Grafické prostredie WDM-PON Release 3	38
5	Triple Play služby.....	40
5.1	Kvalita služby QoS.....	40
5.2	Služba IPTV	41
5.2.1	Architektúra IPTV	41
5.2.2	Prenos vysielania TV kanálov	42
5.2.3	Používané protokoly a kodeky v IPTV	42
5.2.4	Subjektívne metódy pre meranie kvality IPTV	45
5.2.5	Objektívne metódy pre meranie kvality	46
5.3	Služba VoIP.....	48
5.3.1	Požiadavky na prenos v IP telefónii	48
5.3.2	Metódy merania kvality služby VoIP	50
5.3.3	Objektívne metódy pre meranie kvality	51
5.3.4	Štandardy rečových signálov	53
6	Meranie kvality Triple Play služieb	54
6.1	Popis meracieho pracoviska	54
6.1.1	WDM-PON pracovisko	54
6.1.2	GePON pracovisko	56
6.2	Používané meracie prístroje a programy	57
6.3	Konfigurácia zariadení	61
6.4	Používané topológie	64
6.5	Spektrálna analýza navrhnutých topológií	65
6.6	Objektívne meranie kvality IPTV služby	71
6.6.1	WDM-PON.....	71
6.6.2	Nasadenie WDM-PON na stavajúcu sieť GePON	76

6.7	Meranie kvality Triple Play služieb pomocou EtherSAMu	78
6.7.1	WDM-PON.....	79
6.7.2	Nasadenie WDM-PON na stavajúcu sieť GePON	83
7	Záver	88
	Použitá literatúra	90
	Zoznám príloh.....	82

1 Úvod

V súčasnej dobe sa na poli telekomunikácii odohráva veľa zmien predovšetkým v oblasti prenosu signálu k domácim a obchodným zákazníkom. Tieto zmeny sú podporované predovšetkým dvoma technológiami, protokolom IP (Internet Protocol) a optickými vláknami. V dnešnej dobe sú technológie už schopné poskytovať hlasové služby, video a dáta cez spoločný protokol IP.

Dátové prenosy sa rýchlo posúvajú a zväčšujú počet služieb poskytovaných užívateľovi v spoločnom balíčku s názvom Triple Play. Technológie ako VoIP (Voice Over IP), IPTV a širokopásmové dáta sa stavajú v dnešnej spoločnosti samozrejmosťou. Tak ako rastie počet služieb a vyvíjajú sa nové technológie, tak ich poskytovatelia nasadzujú na ich pôvodné siete, ktoré sú navrhované na využitie jednej služby. Dochádza ku ich preťaženiu a v mnohých prípadoch nemôžu zabezpečiť dostatočnú kapacitu pre poskytovanie viac služieb naraz. Triple Play môže byť poskytovaná koncovým užívateľom cez metalické siete (ADSL2+, VDSL), optické siete (FTTH), ale aj bezdrôtovou formou (Wi-Fi, UMTS). Práve bezdrôtové pripojenie a mobilné služby sú pomenované pojmom Quadruple Play.

Dnes sú už stavajúce metalické siete schopné poskytovať prenosové rýchlosti 20 Mbit/s, ale za niekoľko rokov budú poskytovať prenosové rýchlosti vyššie ako 50 Mbit/s. Tieto siete potom dokážu poskytnúť užívateľom kompletnú ponuku služieb ako je vysokorýchlostný internet, online hranie hier, telefónne služby, televízne vysielanie vo vysokom rozlíšení HDTV a služby ako je video na vyžiadanie VoD (Video On Demand) a PPV (Pay Per View).

Tieto služby so sebou avšak prinášajú nutnosť veľkých investícií do optických prístupových sietí. Aby bolo možné docieľiť týchto služieb, na prvom mieste musí byť veľká snaha priblížiť optické vlákno čo najbližšie ku koncovému užívateľovi. Stále viac a viac poskytovateľov buduje siete s optickými vláknami pre budúce poskytovanie širokopásmových služieb, zvyšovanie priepustnosti šírky pásma, poskytovanie vyššej spoľahlivosti a znižovanie prevádzkových nákladov.

2 Optická prístupová sieť

Prístupová sieť je druh siete medzi poskytovateľom a zákazníkom. Tato sieť bola do nedávna riešená metalickým vedením. V dnešnej dobe je už ale tendencia prechádzať na vedenie optické. Hlavne kvôli rozvoji multimediálnych služieb náročných na prenosovú rýchlosť sa v poslednej dobe začínajú postupne v praxi objavovať riešenia pre prístupové siete založené čiastočne či úplne na optických vláknach. Využívajú hlavne niektorú z možných realizácií optické prístupové siete OAN (Optical Access Network). Optické prístupové siete nevyužívajú iba optických vláknových spojov, ale rovnako aj optických spojov voľným priestorom, ktoré nebudem rozoberať. Optické prístupové siete dokážu vyriešiť plno otázok ohľadom rastu počtu zákazníkov, rastu požiadaviek na vytvorenie služieb, rastu objemového balíku dátovej komunikácie. Dokážu tiež vytvoriť prostredie, ktoré umožní multiplexne používanie médií.

Optickú prístupovú sieť ide obecné definovať ako súbor všetkých technických prostriedkov, ktoré zákazníkom umožňujú prístup ku poskytovaným službám prevádzkovanej siete. S ohľadom na prenosové kapacity a kvalitu služieb sú z technického ohľadu pre prístupové siete najlepšie k prenosovému prostrediu optické káble. V súčasnej dobe majú optické káble prenosovú kapacitu rádovo desiatok Gbit/s, ich využitie nie je limitované vlastnosťami optického prenosového prostredia, ale typom a prenosovou kapacitou použitých prenosových prostriedkov.

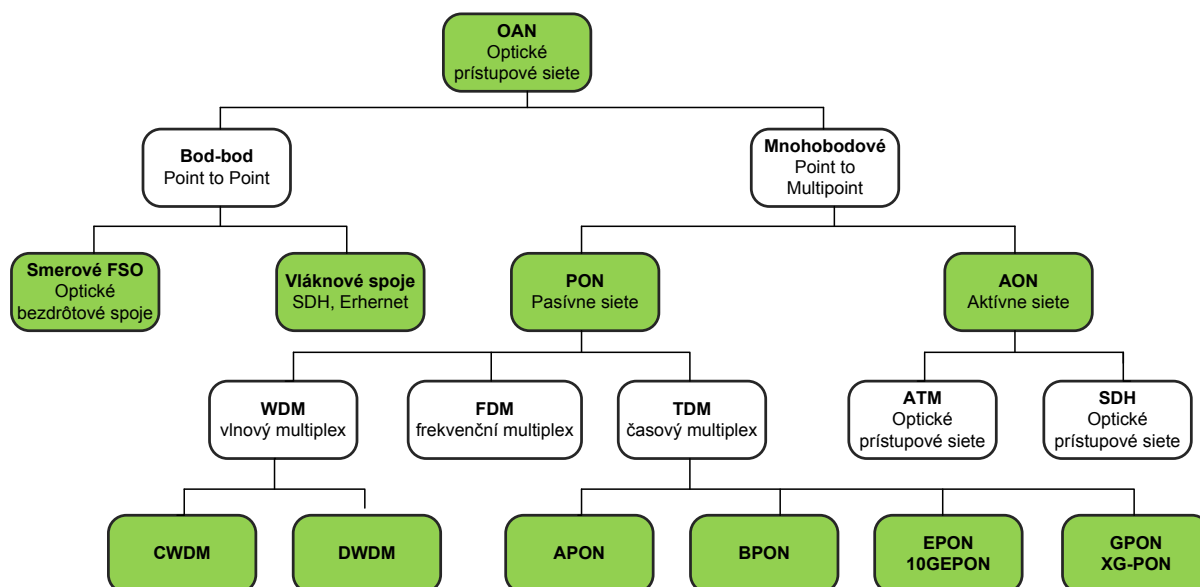
U optických sietí je vysielačom zdroj žiarenia, médiom optický vlnovod a prijímačom detektor optického žiarenia. Prvky na trase sú rôzne (splittry, couplery, konektory, optické regenerátory a atď.). Zdrojom v optoelektronike sú LD (Laser Diod) a LED (Light Emitting Diod). Tu sa hlavné využíva PN prechodu a to v priepustom smere. Žiarenie vo forme fotónu sa docieľi rekombináciou elektrónu a dier. V detektore je tiež PN prechod, ale v závernom smere.

Prístupové siete, ktoré sú založené na optickom princípu, môžeme jednoducho rozdeliť na dve veľké skupiny. A to na prvú pasívnu sieť PON (Passive Optical Network), a na druhú aktívnu sieť AON (Active Optical Network). Rozdielom, teda hlavným medzi týmito prístupovými sieťami je ten, že pasívna sieť PON ku svojej činnosti v distribučnej časti siete nepotrebuje aktívne prvky. Sú to prvky, ktoré k činnosti (chodu) potrebujú elektrickú energiu. Pasivitu prvkov, ale však nedosiahneme v hlavných a koncových optických jednotkách siete PON. Na rozdiel tomu aktívne siete AON využívajú aktívne prvky (optické zosilňovače, regenerátory signálov a atď.) aj v distribučnej časti siete. Tým sa dosahujú väčšie prevádzkové vzdialenosti a väčšieho deliaceho pomeru (väčší počet koncových užívateľov). [2]

2.1 Rozdelenie optických prístupových sietí

Pre vysokorýchlostnú komunikáciu v systémoch a sieťach sa stali ideálnym médium optické vlákna. Užívatelia mali a majú vysoké nároky a kvôli rozvíjajúcich aplikácií, šírka klasických medených káblov už dosiahla svoj limit. Týmto sa stáva optická sieť omnoho lepším riešením. Pri implementácii technológii optických prístupových sietí sa bude musieť venovať dostatočnej pozornosti jednotlivým komponentom. Optické prístupové siete sa delia, či budujú v dvoch variantoch. A to bodové spojenie (Point to Point) a viac bodové spojenie (Point to Multipoint). Ďalej ich môžeme deliť podľa použitých prvkov, technológii, realizácie a multiplexu.

Podľa typu použitého prenosového média ide optické siete rozdeliť na siete s prenosom voľným priestorom FSO (Free Space Optics) a siete s optickými vláknami. Pokiaľ sa v samostatnej optickej distribučnej sieti ODN (Optical Distribution Network) nachádza aspoň jeden aktívny prvok. A tento prvok si vyžaduje samostatné riadenie a napájanie (prepínač, smerovač, opakovač atď.), ide o aktívnu prístupovú optickú sieť AON (Active Optical Network). Na rozdiel, pokiaľ je optická sieť zložená iba pasívnymi prvkami je táto sieť označovaná ako pasívna optická prístupová sieť PON (Passive Optical Network). Základne rozdelenie optických prístupových sietí je zobrazené na obrázku 2.1. Ako som už spomínal na základe spôsobu pripojenia koncových užívateľov je možné siete ďalej rozdeľovať na siete využívajúce spojenie typu: [7]



Obrázek 2.1: Rozdelenie optických prístupových sietí. [5]

2.1.1 Bod - bod (Point to Point)

Kedy na koncovej strane každej prípojky je pripojený iba jeden užívateľ. Patrí medzi najjednoduchšie na realizáciu, tiež na meranie. Ide o prepojenie každého užívateľa zvlášť a to jedným alebo dvoma vláknami. Pri využití dvoch vlákien je jedno použité pre smer od účastníka (upstream)

a to druhé naopak k účastníkovi (dowstream). U jedného sa využíva multiplexu (pre každý smer iná vlnová dĺžka). Pri prenose sa pre vetvenie signálu využívajú aktívne prvky, preto sa táto štruktúra siete používa v AON.

2.1.2 Mnohobodové (Point to Multipoint)

Kde je možné pripojenie väčšieho množstva užívateľov do jednej optickej štruktúry, pričom je tá časť siete všetkými užívateľmi zdieľaná. V sieti sa nachádza rozbočovači prvok, ktorý delí vlákno na rôzny počet vlákien podľa počtu užívateľov. Táto architektúra, či technológia oproti bod – bod, výrazne šetrí počet vlákien a je teda lacnejšia. Naopak na meranie a správu je zložitejšia. Rozlišujeme dva základne druhy podľa použitých prvkov v sieti a to AON a PON. S touto architektúrou, či typom sa predovšetkým stretneme v PON sieťach, pretože na rozdelenie optických signálov používa pasívne deliče (splittery). [18]

2.2 Základne prvky optickej pasívnej siete

Optická prístupová sieť nám slúži na prenesenie signálu medzi koncovým bodom a spojovacou sieťou. Táto sieť je obecné zložená z niekoľkých častí. Do prvej časti patria prvky aktívne a to ako na strane užívateľa (ONU/ONT), ale aj na strane prevádzkovateľa (OLT). V prenosovej časti sú umiestnené prvky, ktoré slúžia k prenosu vlastného optického signálu (ODN).

Medzi základné funkčné celky optickej prístupovej siete patrí:

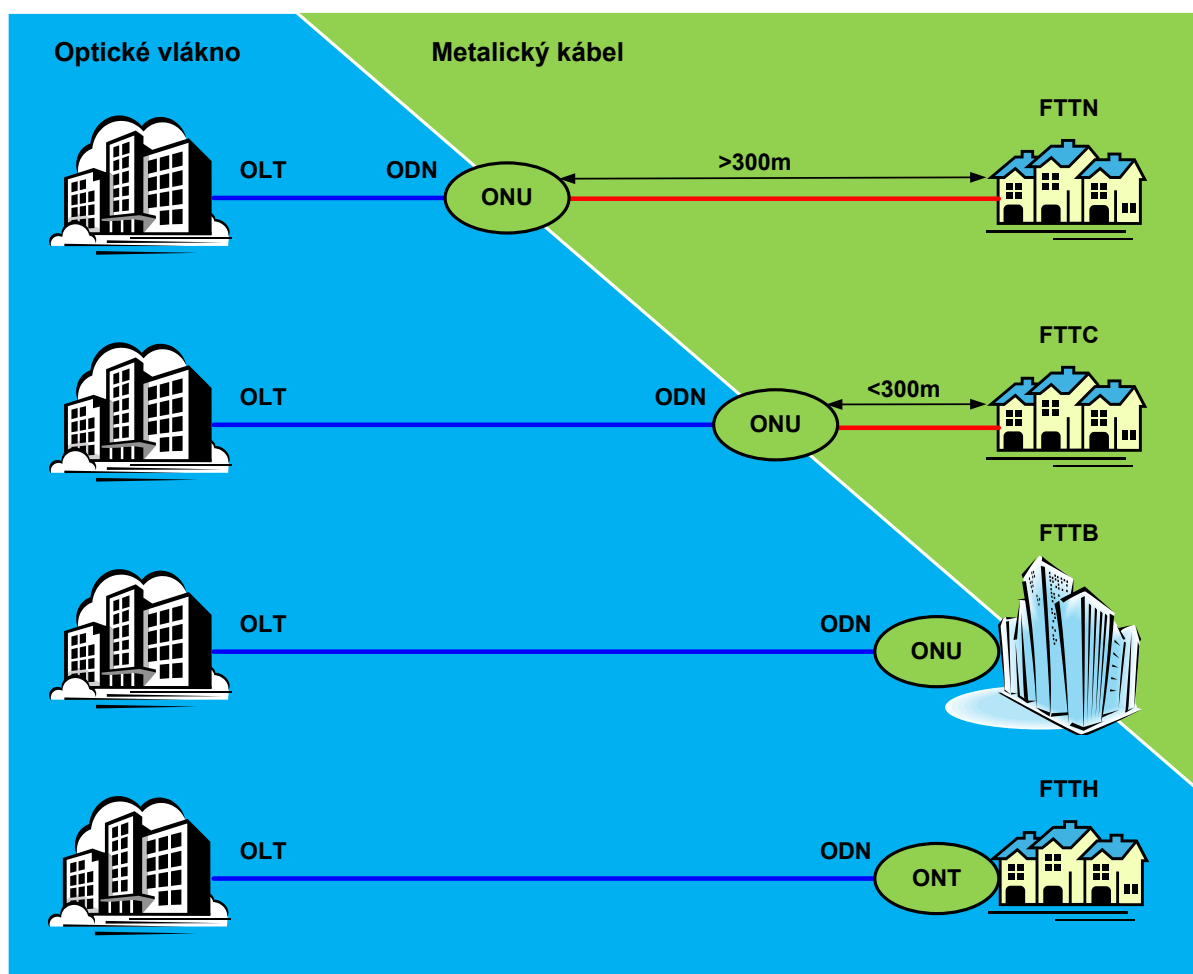
- **optické linkové zakončenie (OLT/Optical Line Termination)**, kde zaisťuje funkciu sieťového rozhrania medzi sieťou prístupovou a sieťou zaisťujúcou telekomunikačné služby. Jej hlavnou činnosťou je správa a dohľad nad jednotlivými koncovými jednotkami ONT a ONU,
- **optická distribučná sieť (ODN/Optical Distribution Network)**, ktorú tvorí súbor všetkých pasívnych a aktívnych optických prenosových prostriedkov medzi optickým linkovým zakončením OLT a optickými sieťovými zakončeniami a sieťovými jednotkami ONU. Patri tu hlavne optické vlákno, pasívne a aktívne optické rozbočovače, konektory, spojky a filtri,
- **optické ukončovacie jednotky (ONU/Optical Network Unit)**, je nasadená v hybridných sieťach, kde je za optickým vláknom zaradená metalická alebo bezdátová sieť a obecné môže pripojiť väčšie množstvo koncových zákazníkov,
- **optické sieťové zakončenie (ONT/Optical Network Termination)**, koncové zaradenie na rozhraní účastníckej a prístupovej časti siete, sprostredkováva funkcie medzi týmito rozhraniami, zaisťuje spojenie koncových zariadení účastníckej sekcie s prístupovou sekciou,

- **optická prístupová sieť (OAN/Optical Access Network)**, tu patria všetky optické zariadenia umiestnené stromovite, prenášajúce optickú informáciu medzi jednotkami OLT a jednotkami ONT/ONU vrátane. [16]

2.3 Optické prístupové siete FTTx

Podľa spôsobu ukončenia ukončovacích jednotiek ONU, môžeme rozlišovať rôzne typy. Siete typu FTTx majú množstvo variant, tie najviac používané sú zobrazené na obrázku 2.2.

- **FTTN (Fiber To The Node)**, prípojka je ukončená v uzlu a umiestnená niekoľko stoviek metrov až kilometrov od koncových jednotiek. Z tohto uzlu sú vedené metalické prípojky k jednotlivým staniciam k ďalším uzlom. Je možné používať VDSL s rýchlosťou 25 až 50 Mbit/s v zostupnom smere a 2 až 10 Mbit/s vo vzostupnom smere,
- **FTTC (Fiber To The Curb)**, podobná architektúra ako u FTTH s rozdielom, že prípojná skriň je umiestnená omnoho bližšie užívateľovi (do 300 metrov). Toto riešenie umožňuje využívať multiplexor VDSL2 s rýchlosťou 50 až 100 Mbit/s v zostupnom smere a 5 až 15 Mbit/s vo vzostupnom smere,
- **FTTB (Fiber To The Building)**, predstavuje možnú kombináciu optickej a metalickej siete. Je určená predovšetkým pre pripojenie väčších budov či obytných komplexov. Optické vlákno je privedené do suterénu budovy, kde je umiestnená vlastná optická sieťová jednotka ONU. Výstup je realizovaný na báze metalického ethernetu 1 Gbit/s, ku ktorému je pripojený centrálny prepínač alebo smerovač. Koncoví užívatelia v rámci budovy sú k prepínaču pripojení lokálnou dátovou sieťou pomocou štandardných káblov typu UTP,
- **FTTH (Fiber To The Home)**, kedy je optické vlákno prístupovej siete privedené až do objektu samotného koncového užívateľa. V závislosti na použité technológii môže byť objekt vzdialený od ústredne prevádzkovateľa až 20 km. Dokáže ponúknuť spoločne s variantom FTTO (vlákno až do „kancelárie“) najvyššiu prenosovú rýchlosť 50 až 100 Mbit/s. Na druhú stranu je zo všetkých variant finančne najnáročnejší. [13]



Obrázek 2.2: Optické prístupové siete FTTx. [19]

2.4 Prenos optického signálu v prístupovej sieti

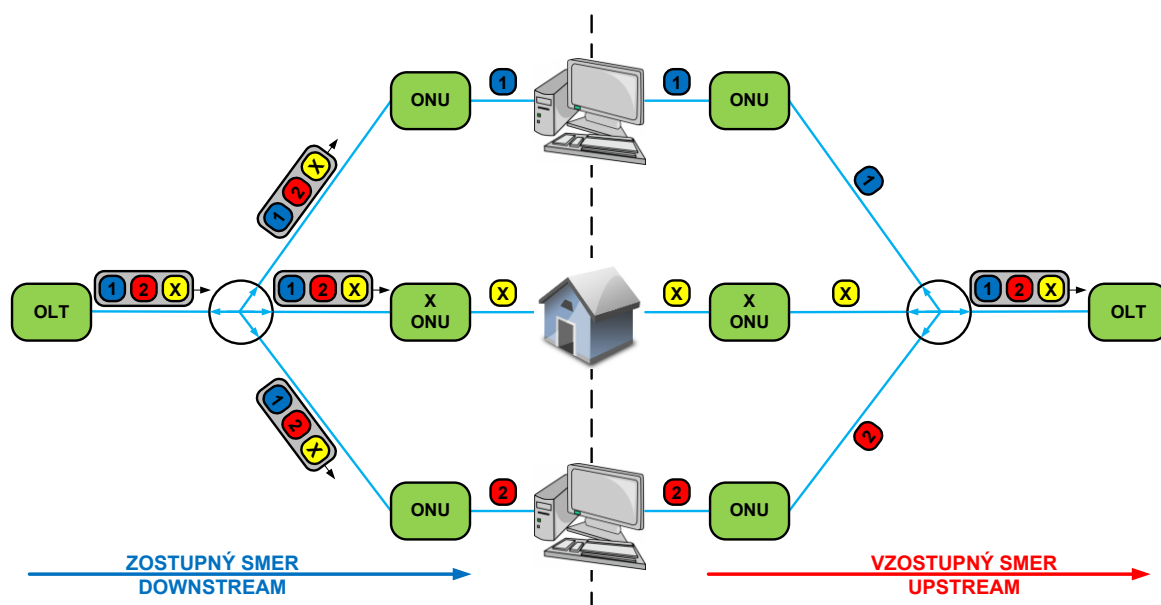
Ako bolo už spomenuté siete mnohobodového typu (Point To Multipoint) zdieľajú jedno optické prenosové vlákno pre väčší počet koncových užívateľov. Výrazne sa nám vtedy znižuje množstvo tiahnutých optických vlákien. Pri vzostupnom smere dochádza ku spätnému skladaniu daných signálov, preto je treba zaistiť aby nedochádzalo ku kolíziu jednotlivých dát.

Použije sa technológia multiplexovanie, ktorá umožňuje zaistiť aby nedochádzalo ku kolíziám. Prenos dát pomocou pasívnej optickej siete najlepšie zobrazuje obrázku 2.3. Od prevádzkovateľa vedie jedno optické vlákno, kde jeho signál je delený pomocou rozbočovačov a ďalej pokračuje ku koncovým užívateľom (16 až 128 koncových užívateľov do vzdialenosti 10 až 20 km). Medzi hlavné tri základne metódy patrí:

- **časový multiplex TDM (Time Division Multiplex)**, ide o delenie z hľadiska času. Jednotlivé bunky sú logicky usporiadané za sebou. Pre zostupný smer je komunikácia jednoduchá. OLT jednotka spojuje všetky prichádzajúce informácie a posiela ich

v spoločnom rámci do siete. Tie sú vysielané do všetkých ONT jednotiek (riziko odposluhu). Naopak pri vzostupnom smere je priebeh komplikovanejší. Využíva sa časový multiplex, ktorý sa stará o vymedzenie časového rámca pre jednotlivé koncové ONT jednotky. Každá jednotka vysiela v pridelenom čase len určité množstvo dát. Všetko má na starosti OLT jednotka, vykonáva správu komunikácie,

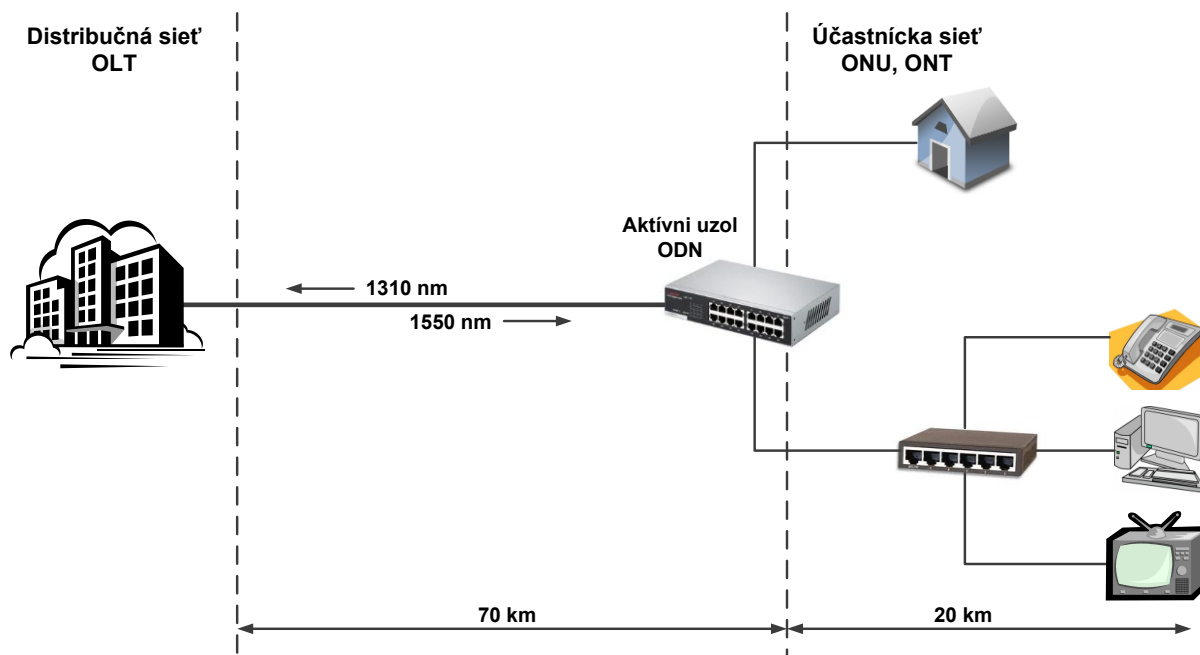
- **frekvenční multiplex FDM (Frequency Division Multiplex)**, kde sú signály v oboch smeroch prenášané po jednom vlákne v jednej oblasti vlnových dĺžok a smery prenosu sú oddelené kmitočtovo,
- **vlnový multiplex WDM (Wave Division Multiplex)**, kde zostupný a vzostupný smer je riešený pomocou rôznych vlnových dĺžok pre každý smer. Zostupný smer okolo 1550 nm a vzostupný smer okolo 1310 nm. Táto technológia je v dnešnej dobe najviac v rozkvetu.



Obrázek 2.3: Princíp prenosu optického signálu. [11]

2.5 Aktívna optická prístupová sieť (AON)

Aktívna prístupová sieť (Active Optical Network) je sieť s aktívnym prvkom (prepínačom, opakovačom a atď.). Práve spoje typu bod-bod sú väčšinou realizované ako aktívne. Najčastejšie sú nasadzované v prípadoch, kde sú vysoké požiadavky na šírku pásma alebo kde je vzdialenosť medzi linkovým zakončením OLT (strana prevádzkovateľa) a koncovými jednotkami ONT/ONU (strana účastníka) väčšia ako je dosah v pasívnych sieťach PON. Môžeme aj využívať väčší deliaci pomer a dosahovať optickým signálom do viacerých miest bez straty výkonu. AON dokáže vzdialenú správu jednotlivých sieťových prvkov a tým plnú kontrolu siete. Siete sú väčšinou riešené technológiou SDH s topológiou kruh, na ktorú sa účastníci pripoja pomocou technológie xDSL. [24]



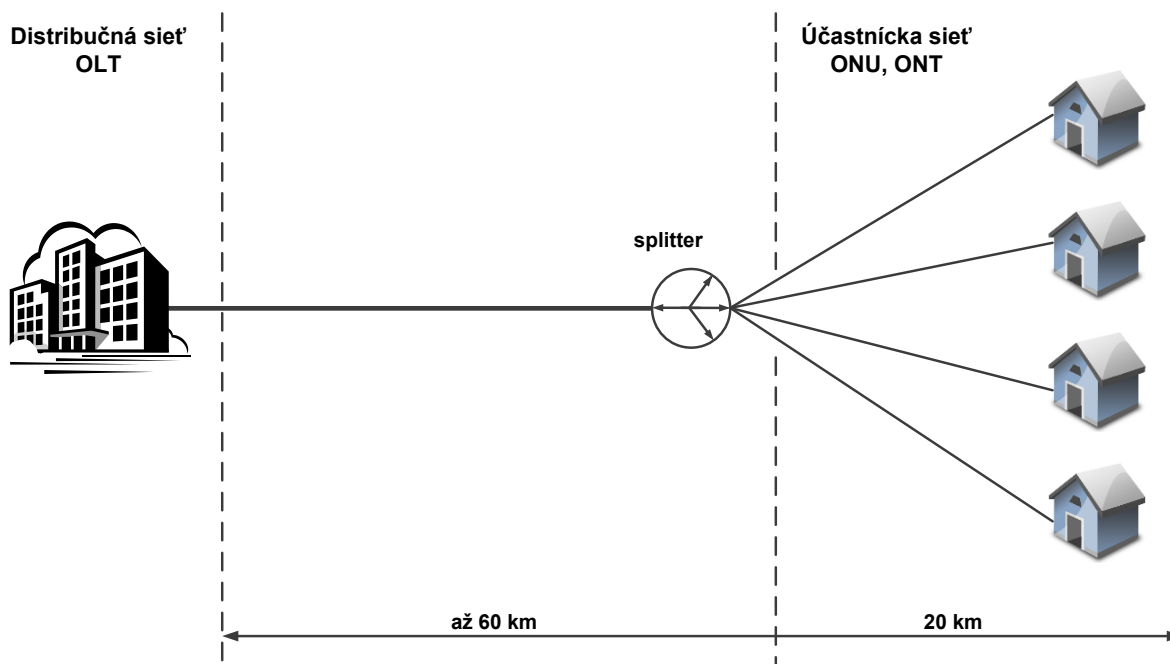
Obrázek 2.4: Aktivna optická prístupová sieť AON.

2.6 Pasívna optická prístupová sieť (PON)

Pasívna optická sieť (Passive Optical Network) patrí medzi najvýznamnejšie smery v nasadzovaní optických prístupových sietí. Medzi ústredňou poskytovateľa služieb a koncovým zákazníkom nie je použité žiadne aktívne napájanie sieťových prvkov. Naopak je použitý pasívny rozbočovač, tzv. splitter, ktorý optický signál rozdelí na daný pomer. Keďže daný optický signál nezosilňuje, výstupný optický signál pasívneho optického splitteru je slabší ako pri výstupe z aktívneho prvku použitého v aktívnych sieťach AON.

Veľmi veľkou výhodou oproti sieťam aktívnym AON (Active Optical Network) sú nižšie náklady na výstavbu a prevádzku. Dochádza k úspore počtu natiahnutých optických vlákien, kvôli prenosovej šírke jedného vlákna viacerým účastníkom, ale aj kvôli potrebnému vybaveniu pre správne fungovanie siete na strane poskytovateľa.

Základne topológie pasívnych optických distribučných sietí ODN sú hviezda (Star), strom (Tree), zbernica (Bus) a kruh (Ring). Každá táto topológia ma svoje výhody aj nevýhody ako z hľadiska investičného tak aj prevádzkového hľadiska. Najpoužívanejšia je stromová topológia, ktorá je pre PON siete typická. [25]



Obrázek 2.5: Pasívna optická prístupová sieť PON.

2.6.1 APON (Asynchronous Transfer Mode PON)

Pasívna optická sieť APON (ATM Passive Optical Network) ide o prvú sieť zo štandardu využívaných v pasívnych optických sieťach v doporučení ITU-T G.983 z roku 1998. Je založená na časovom multiplexu TDM. Využíva bunkového prenosu ATM vo dvoch podporovaných prenosových módoch. V prvom symetrickom s rýchlosťou 155,52 Mbit/s v oboch smeroch a v druhom asymetrickom móde s rýchlosťou 622,08 Mbit/s vo smere k užívateľovi (downstream) a rýchlosťou 155,52 Mbit/s v spätnom smere od užívateľa (upstream).

K OLT jednotke môže byť pripojených až 32 koncových jednotiek ONT. Veľkou výhodou tejto technológie je natívna podpora tried QoS nasadením ATM technológie. Spôsob riešenia duplexnej prevádzky je podobný s organizácií s sieťou BPON. [1]

2.6.2 BPON (Broadband PON)

Technológia APON sa v roku 2001 dočkala úprav definovaných v doporučení označenom ITU-T G.983 a používa sa skratka BPON (Broadband Passive Optical Network). Komunikácia sa uskutočňuje po jednom vlákne na vlnových dĺžkach 1480 až 1500 nm pre smer k užívateľovi (zostupný smer) a 1260 až 1360 nm pre smer od užívateľa (vzostupný smer). Vo väčšine prípadov sa využíva vlnových dĺžok 1490 nm pre smer k užívateľovi, 1310 nm pre smer od užívateľa a 1550 nm pre video. Oproti APON je doplnená podporou WDM, zväčšením prenosového pásma a väčšej spoľahlivosti. Symetrický prenos je s rýchlosťou 622,08 Mbit/s v oboch módoch. [1]

2.6.3 GPON (Gigabit PON)

V roku 2003 bola predstavená verzia pasívnej optickej prístupovej siete GPON (Gigabit Passive Optical Network). Táto verzia nadväzuje na sieť typu BPON a rozširuje ju o použitie druhej vrstvy. Jedná sa o protokoly ATM, Ethernet a GEM. Práve protokol GEM (GPON Encapsulation Method) je najväčším rozdielom, spolu s systémom služobných správ a riadenia OMCI (ONU Management and Control Interface). Protokol GEM vytvára rámce, ktoré majú premenlivé dĺžky a kvôli zapuzdrení s ATM bunkami uskutočňujú kompatibilitu s Ethernet rámcami.

Prenosová šírka pásma je 1244,16 Mbit/s a 2488,32 Mbit/s v oboch smeroch. Pre prenos dát je použité jedno optické vlákno s použitím TDM, tak ako v prípade APON. Technológia GPON využíva vlnové dĺžky 1260 až 1360 nm v vzostupnom smere a 1480 až 1500 nm v zostupnom smere. Tolerančné pásmo pre vzostupný smer je 20 nm a pre zostupný je 100nm. Sieť GPON ide rozdeliť do troch typov útlmových tried, ktoré sa od seba odlišujú použitými optickými vysielačmi a optických detektorov. Poznáme tri útlmové triedy:

- Trieda A je určená pre krátke vzdialenosti s malým vložným útlmom (približne 5 až 20 dB). Sieť je využívaná iba pre malé počty účastníkov, používa sa iba okrajovo a pre krátky dosah nie je perspektívna,
- Trieda B je určená pre stredné vzdialenosti so stredným vložným útlmom (od 10 až 25 dB). Táto trieda má vyvážený pomer vložného útlmu a aj počiatočné náklady na výstavbu sú prijateľné. Pri použití rozbočovačov 1:32 a 1:64 sa vložný útlm zväčší na 16 až 19 dB, ale nezasahuje do triedy C veľkým útlmom. Keďže tým nenecháva veľký priestor pre ostatné prvky siete bola trieda B rozšírená na triedu B+ s vložným útlmom 13 až 28 dB,
- Trieda C je určená pre dlhé vzdialenosti s veľkým vložným útlmom 15 až 30 dB. Podobne ako v triede B aj v tejto triede je rozšírená trieda C+ s vložným útlmom 17 až 32 dB. Používa sa iba v sieťach s prekročeným maximálnym útlmom v triede B. Ďalšie zväčšovanie už má za následok vkladanie aktívnych prvkov do prenosovej trase. [4]

2.6.4 EPON (Ethernet PON)

Pasívna optická sieť, ktoré je založená na princípu prenosu pomocou rámcov Ethernetu. Ethernet pokrýva vrstvu fyzickú a aj dátovú OSI modelu. Z toho je označenie EPON (Ethernet Passive Optical Network), popísaná v štandarde IEEE 802.3. Túto sieť môžeme nájsť aj pod názvom GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network), pretože môže mať prenosovú rýchlosť v Gbit/s. Ak sa bude pokračovať existuje aj varianta 10 GEPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network), ktorá už má prenosovú rýchlosť 10 Gbit/s. Túto variantu si popíšeme nižšie.

EPON sa najviac používaná v stromovej topológii a využíva pasívne 1:N optické rozbočovače. Sieť je konfigurovaná v plne duplexnom móde v jednom optickom vlákne. Výhoda používania Ethernetu v prístupových sieťach je ľahké začlenenie do transportnej siete, kde sa často používa SDH. Toto sprístupní využitie vstavajúcej infraštruktúry. Nevýhodou je absencia implementácie QoS, nepodporovanie služieb TDM a nezaistovanie šírky pásma.

Optické siete EPON existujú v dvoch základných variantoch. Prvý typ sietí sa už moc nevyskytuje, dôvodom je malý dosah siete a možnosť pripojiť iba 16 užívateľov. Má označenie 1000BASE-PX10 a je štandardom IEEE 802.3ah. Maximálna vzdialenosť je 10 km a používa jedno jednovidové vlákno. Prenosová rýchlosť v oboch smeroch je 1,25 Gbit/s. Pre zostupný smer je vlnová dĺžka 1490 ± 10 nm a pre vzostupný smer 1310 ± 50 nm. Ako som už spomínal maximálny počet pripojených užívateľov je 16.

Druhý typ varianty má označenie 1000BASE-PX20 a je štandardom IEEE 802.3ah. Maximálna vzdialenosť je už 20 km a používa jedno jednovidové vlákno. Prenosová rýchlosť v oboch smeroch je 1,25 Gbit/s. Pre zostupný smer je vlnová dĺžka 1490 ± 10 nm a pre vzostupný smer 1310 ± 50 nm. Na rozdiel od predchádzajúceho typu, táto sieť pripojí 32 užívateľov pri dvojnásobnej vzdialenosti. Pre jednotlivé ukončovacie jednotky ONU funguje oddelenie informácií pomocou časového multiplexu TDM a prevádzka na vlákne v oboch smeroch pomocou WDM. [6]

Tabuľka.2.1: Základné vlastnosti pasívnych optických sietí. [1]

Varianty PON	APON	BPON	GPON	EPON	10GEPON	XG-PON
Odporúčenia	ITU-T G.983 (1998)	ITU-T G.983 (2001)	ITU-T G.984 (2003)	IEEE 802.3ah (2004)	IEEE 802.3av (2009)	ITU-T G.987 (2010)
Varianty prenosových rýchlostí	0,15 Gbit/s symetrický režim	0,6 Gbit/s symetrický režim	1,25 Gbit/s symetrický režim	1 Gbit/s symetrický režim	10 Gbit/s symetrický režim	10 2,5 Gbit/s nesymetric. režim
	0,6 0,15 Gbit/s asymetric. režim		2,5 1,25 Gbit/s nesymetric. režim		10 1 Gbit/s asymetric. režim	
			2,5 Gbit/s symetrický režim			
Prenosová rýchlosť na fyzickej vrstve	155,52 Mbit/s	622,08 Mbit/s	1,244 Gbit/s	1,25 Gbit/s	10,3125 Gbit/s	9,953 Gbit/s
	622,08 Mbit/s	1,244 Gbit/s	2.488 Gbit/s		1,25 Gbit/s	2,488 Gbit/s
Prekódovanie			NRZ	8b/10b (20%)	64b/66b (3%)	NRZ
Útlmové triedy	Trieda A	Trieda A	Trieda A	PX 10	PR10, PRX10	Nominal 1
						Nominal 2
	Trieda B	Trieda B	Trieda B (B+)	PX 20	PR20, PRX20	Extended 1
Trieda C	Trieda C	Trieda C	PR30, PRX30		Extended 1	
Vlnové dĺžky [nm]	1480-1500 zostupný smer	1480-1500 zostupný smer	1480-1500 zostupný smer	1480-1500 zostupný smer	1575-1580 zostupný smer	1575-1580 zostupný smer
	1260-1360 vzostupný smer	1260-1360 vzostupný smer	1260-1360 1290-1330	1260-1360 vzostupný smer	1260-1280 1260-1360	1260-1280 vzostupný smer
Dosah [km]	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 10, ≤ 20	≤ 10, ≤ 20	≤ 20, ≤ 40
Maximálny rozbočovači pomer	1:32	1:32	1:64 (do 1:128)	1:32	1:32 (do 1:128)	1:256
Zabezpečenie FEC			povinné RS (255,239)	povinné RS (255,239)	povinné RS (255,233)	povinné RS (248,216)

3 Siete novej generácie NGA

Telekomunikačné siete boli tvorené dvoma samostatnými typmi sietí. Prvý typ je telefónna sieť, ktorá slúžila pre prenos hovorového signálu a druhý typ dátová sieť slúžila pre prenos dát. Siete sa vyvíjali nezávisle na seba.

Telefónne siete sú založené na časovom delení TDM a označujú sa skratkou PSTN (Public Switched Telephone Network). Z analógových sietí sa postupom vyvinuli na digitálne siete ISDN (Integrated Services Digital Network). Ich primárnou službou je prenos telefónneho signálu. Medzi tie ostatné služby patrí prenos textu, obrazu, videa a dát. Telefónne siete sa vyznačujú spoľahlivosťou v prenose informácií oproti dátovým sieťam. Okruhy sú rezervované pre dané spojenie, je teda zaručená priechodnosť, ale aj ďalšie parametre ako oneskorenie a konštantná šírka pásma. Práve v dátových sieťach tieto parametre nie sú zaručené, pretože sa snažia o najlepšiu možnú kvalitu. Informácie nemusia vždy doraziť do cieľa.

Na rozdiel dátové siete boli určené pre elektronický prenos. Na začiatku sa vyvíjali samostatne ako lokálne siete, ktoré boli postupom spojené s modemami cez telefónnu sieť. Vývoj bol neskutočne rýchly a došlo ku prepojeniu jednotlivých sietí do jednej celosvetovej dátovej siete, teda Internetu. Veľkou výhodou oproti telekomunikačným sieťam je paketový prenos. Keďže telefónne siete vytvárajú spojenie, ktoré je udržiavané po celú dobu hovoru a to aj keď nie je prenášaný žiadny užitočný obsah, tým sa zbytočne blokuje využitie kanálu pre ostatných účastníkov. Práve paketový prenos toto rieši. Keď užívateľ odosiela alebo prijíma dáta, je táto informácia uložená do paketov a prenášaná sieťou. Pri pokoji je prenosové médium voľné a môže ho využívať iný účastník.

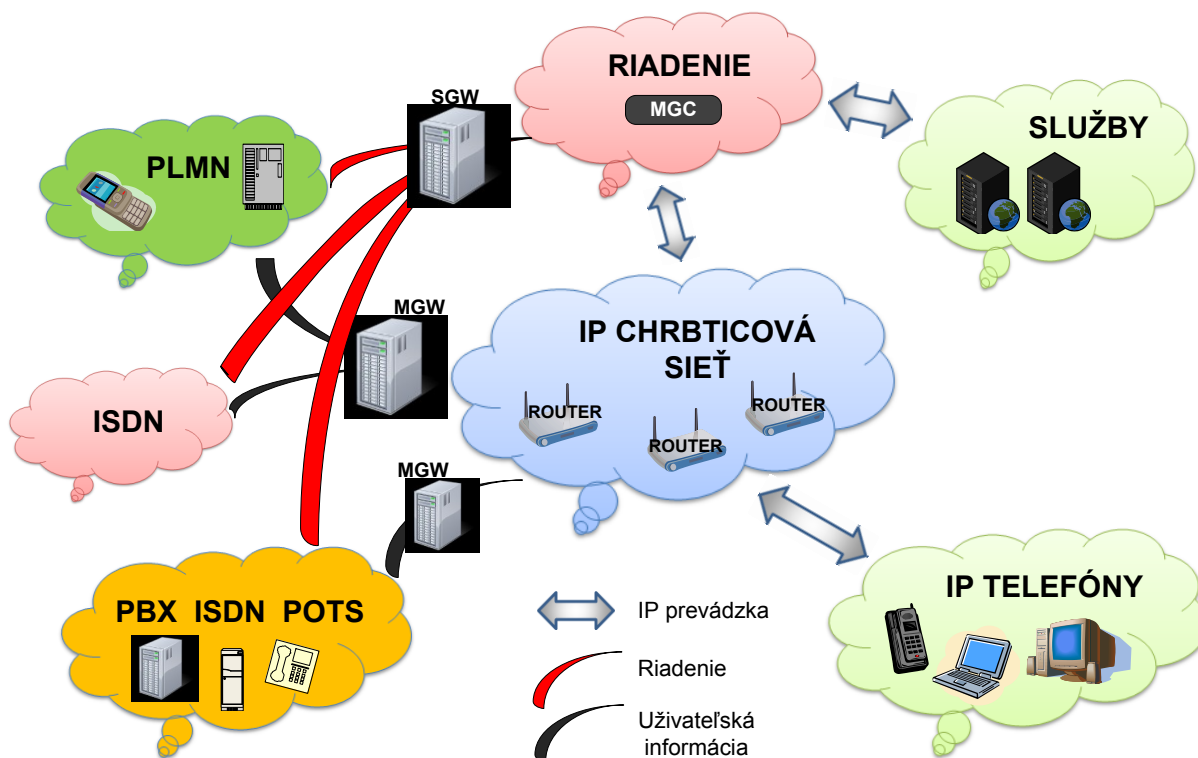
Spojením vlastností telefónnych a dátových sietí ktoré sú založené na IP a použitím výhod oboch vznikla sieť novej generácie – NGN (Next Generation Network). Medzi hlavné znaky NGN je paketový prenos informácie a poskytovanie telekomunikačných služieb (audio, video a dáta). [14]

Sieť novej generácie je vysoko rýchlostná paketová sieť. Inak povedané sieť s veľkou priepustnosťou využíva paketový prenos, ktorý je založený na IP protokolu a to v chrbticovej a aj v prístupovej sieti (WiFi, 3G). NGN zaručujú u poskytovateľov kvalitu svojich služieb (QoS). Poskytované služby sú nezávislé na použitej technológii a môžu byť využité rôznymi poskytovateľmi. Zaručujú aj voľný pohyb užívateľov v sieti, to docieli neustále využívanie služieb. Siete novej generácie majú od seba oddelené jednotlivé roviny. Najnižšia transportná rovina, ktorá nesie užívateľské dáta je oddelená od roviny riadenia, ktorá má zas na starosti zostavovanie spojenia v sieti a údržbu. Podobne aj vrstva riadenia je oddelená od najvyššej aplikačnej roviny, ktorá predstavuje dané služby poskytované jednotlivým poskytovateľom. Rozdelené roviny od seba dovoľujú poskytovať služby užívateľom od rôznych operátorov v rámci jednej siete. [15]

3.1 Architektúra NGA

Architektúra NGN sa dá rozdeliť do troch hlavných domén. Do prvej domény patria aplikačné servery (IP Multimedia Subsystem - IMS), ktoré zaisťujú služby a sú pripojené do chrbticovej IP siete. Riadenie je sústredené do serverov, ktoré sú rovnomerné rozložené v sieťach. Prenosová časť siete je tvorená IP technológiou. Táto architektúra je veľmi ľahko rozširiteľná, ľahko sa prispôsobuje požiadavkám a obsahuje málo riadiacich prvkov.

Architektúra NGN obsahuje okrem aplikačných, riadiacich a transportných prvkov, tiež aj brány. Brána (Gateway) je zariadenie, ktoré prevádza informácie z paketovej oblasti do oblasti pracujúcej s časovým delením. Do siete, ktoré pracujú na báze časového delenia a spojovania okruhu patria ISDN alebo PLMN. Poznáme dva typy brán, prvý typ sú brány využívané pre prevod užívateľských informácií, teda hovorových dát. Nazývajú sa MGW (Media Gateway) a prevádzajú informácie z a do paketov, ale aj konverziu kódovania. Druhý typ brán využíva pre prevod signalizácie signalizačné brány SGW (Signalling Gateway), ktoré prevádzajú signalizácie v paketových sieťach SIP, H.323, MGCP a na signalizácie vo verejných telefónnych sieťach SS7, ISDN. Riadiace prvky v tomto typu NGN sieti predstavujú MGC (Media Gateway Controller). Je to prvok, ktorý riadi celú činnosť celého systému. MGC pracuje so signalizačnými bránami, spravuje aj všetky pod sebou registrované MGW v sieti a riadi tok medzi nimi.



Obrázok 3.6: Architektúra NGN. [20]

Hlavnou výhodou siete novej generácie je vznik jednotnej komunikačnej siete pre všetky typy služieb. Znižujú sa náklady na prevádzku a údržbu siete. Najväčšou výhodou pre koncového užívateľa je možnosť používania rôznych typov služieb pomocou jedného terminálu.

3.1.1 10GEPON (10 Gigabit Ethernet PON)

Pasívna optická prístupová sieť 10GEPON vychádza z predchádzajúcej varianty EPON. Je založená rovnako na prenosi rámcov Ethernet, ale prináša zmeny v prenosových parametroch (zdieľaná prenosová rýchlosť, útlmové triedy, vlnové dĺžky a zabezpečenie). Hlavnou požiadavkou bola spätná kompatibilita so staršou verziou EPON, tak aby bolo možné obidve varianty prevádzkovať v rámci jednej optickej distribučnej siete zároveň. Tým došlo k úspore nákladov, pretože stačilo vymeniť moduly na optických linkových zakončení OLT.

10GEPON bol špecifikovaný inštitútom pre elektrotechnické a elektronické inžinierstvo IEEE v roku 2009 ako štandard IEEE 802.3av. Optická sieť je opäť mnoho bodového typu (Point To Multipoint). Najčastejšia topológia je rozvetvená stromová a pre vetvenie distribučnej siete sú využité pasívne optické rozbočovače. Siete v tomto štandarde môžu pracovať vo dvoch režimoch, symetrickom a asymetrickom. V symetrickom režime dosahuje prenosová rýchlosť hodnotu 10 Gbit/s v oboch smeroch. V asymetrickom režime je prenosová rýchlosť pre smer downstream 10 Gbit/s, ale v opačnom smere upstream už len 1 Gbit/s. Tento režim bol vytvorený kvôli úspore nákladov. V sieťach, kde je požiadavka hlavne na prenosovú rýchlosť v zostupnom smere (distribúcia TV vysielania, videa, multimediálnych služieb, rýchly prístup na internet) je rýchlosť vo vzostupnom smere dostatočná.

Kódovanie sa zmenilo z princípu 8b/10b (8 bitov sa prevádza na sekvenciu 10 bitov) na schému 64b/66b. Smerové oddelenie prenosu je riešené pomocou vlnového delenia. Vo smeru downstream je pre obidve varianty vyhradené pásmo s vlnovými dĺžkami 1575 nm až 1580 nm. Pre smer upstream je to symetrický režim 1260 až 1280 nm a pre nesymetrický režim 1260 až 1360 nm. K jedinej OLT jednotke ide pripojiť pomocou pasívneho rozbočovača až 32 koncových jednotiek ONT. Dosah je štandardne 20 km. Pre sieť 10GEPON boli určené tri útlmové triedy a to pre obidve režimy. U symetrickom režime majú označenie PR10, PR20 a PR30, u režimu asymetrickom zas označenie PRX10, PRX20 a PRX30. Dochádza teda k rozšíreniu útlmových tried. [8]

3.1.2 XG-PON (X Gigabit PON)

Najnovší štandard prinášajúci prenosovú rýchlosť 10Gbit/s. XG-PON bol špecifikovaný v roku 2010 ako štandard ITU-T G.987 medzinárodnou telekomunikačnou úniou. Vyznačuje sa možnosťou zachovania kompatibility s pôvodnou GPON, ale aj jednoduchým prechodom medzi týmito štandardami bez veľkých finančných prostriedkov.

Pre komunikáciu využíva v zostupnom smere vlnové dĺžky od 1575 až 1580 nm a 1260 až 1280 vzostupnom smere. Pásmo v zostupnom smere bolo vybrané kvôli štandardu GPON, ktorá používa pásmo 1490 ± 10 nm pre zostupný smer a pre distribúciu videa používa pásmo 1550 až 1560 nm. Pri vzostupnom smere dochádza ku kolízii, pretože GPON pracovala v pásme 1260 až 1360 nm. Preto GPON bola upravená na pásmo 1290 až 1330nm, tak aby nedochádzalo ku kolíziám. Bol vydaný doplnujúci štandard ITU-T G.984.5, v ktorom je špecifikovaná vlnová výhybka.

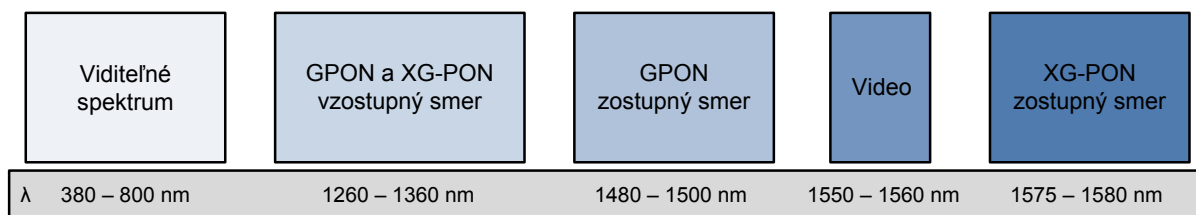
Príchod štandardu XG-PON odštartoval vypracovanie koncepcie nadväzujúcich pasívnych optických sietí, ktoré sa rozdelili do dvoch smeroch NG-PON1 a NG-PON2 (Next Generation Passive Optical Network). XG-PON môžeme zahrnúť do prvého smeru, ktorý sa zaoberá predovšetkým spätnou kompatibilitou so stávajúcimi a predchádzajúcimi štandardami PON vydaných ITU-T. Využíva časové delenie multiplexu TDMA a veľmi obmedzené počíta s využitím vlnového delenia multiplexu WDM. Na rozdiel druhý smer NG-PON2 už počíta s plnou integráciou vlnového delenia multiplexu WDM (CWDM, DWDM) a vytvorením hybridných pasívnych optických sietí WDM-TDMA. Tým sa docieli zvýšenie prenosovej kapacity pasívnych optických sietí až na 40 Gbit/s. Nevýhodou je práve nekompatibilita s predchádzajúcimi štandardami a treba zmeniť celú koncepciu.

XG-PON funguje iba v nesymetrickom režime a dosahujú prenosovej rýchlosti 10 Gbit/s pri zostupnom smere a 2,5 Gbit/s pri vzostupnom smere. Prenosové rýchlosti odpovedajú rýchlostiam v SDH (STM-64 zostupný a STM-16 vzostupný smer) zámerne, pretože vychádzajú z jej princípu. Prenosová rýchlosť vo vzostupnom smere ostala rovnaká ako u GPON. K OLT jednotke ide pripojiť pomocou rozbočovačov až 256 koncových ONT jednotiek. Oproti štandardu GPON sa počet jednotiek zvýšil o štvornásobok. Dosah siete je 20 km, poprípade až do 40 km. [1]

V tomto štandarde je lepšie zabezpečená prevádzka v vzostupnom smere. Zabezpečenie rámcov v predchádzajúcom štandarde bolo nedostatočné. I keď málo byť bezchybné, práve nasadenie sietí ukázalo možnosť odpočívania. Bezpečnosť u XG-PON bola dosiahnutá pomocou výmeny šifrovacích kľúčov a pokročilou metódou vzájomnej identifikácie koncových OLT a ONT jednotiek. Zároveň štandard realizuje úspornejšie režimy prevádzky za účelom dosiahnutia zmenšenia spotreby elektrickej energie. Boli implementované úsporne režimy, ktoré poskytovali možnosť postupne a dočasné odpojovať užívateľské rozhrania na jednotke ONU/OLT napr. Ethernet. Ďalej dočasného odpojenia optického vysielača a utlmenie práce optického prijímača a nakoniec dočasného odpojenia všetkých uvedených rozhraní a uvedenie celej koncovej jednotky do režimu spánku s minimálnou aktivitou.

U novej varianty XG-PON boli zvolené nové útlmové triedy. Hodnota základnej útlmovej triedy je 29dB a označuje sa ako nominálna trieda 1 (Nominal 1). V prípade potreby vyššej hodnoty útlmu bola vytvorená útlmová trieda s hodnotou preklenuteľného útlmu 31 dB a označená ako

nominálna trieda 2 (Nominal 2). Ďalšie dve rozšírené útlmové triedy s označením Extended 1 a 2 vznikli na základe použitia optických detektorov v optických jednotkách ONU/ONT i OLT. [9]



Obrázok 3.7: Spektrum vlnových dĺžok pre variantu WDM-TDM v XG-PON.

3.2 WDM-PON

V dnešnej dobe rýchly rozvoj multimediálnych služieb náročných na prenosové rýchlosti, kladie zväčšené nároky na priepustnosť a celkovú výkonnosť prístupových sietí. Pre potreby budúcich aplikácií optických prístupových sietí bude potreba adekvátne zväčšovať prenosové parametre optických sietí. Súčasné optické prístupové siete (GPON a EPON) sú už inštalované pre praktické aplikácie a v niektorých mestách vybudovaná ich optická infraštruktúra. Daný typ optických sietí využíva pre prístup väčšieho počtu užívateľov časové delenie TDMA (Time Division Multiple Access) a pre obojsmernú prevádzku spôsob oddelenia vlnových dĺžok WDD (Wavelength Division Duplex). Maximálny počet pripojených koncových užívateľov a vzdialenosť je daná celkovým útlmom optického spoja (pasívny optický rozbočovač).

Pasívne optické siete založené na časovom delení TDMA sa postupne blížia z pohľadu prenosových parametrov ku konečnej hranici. Ďalšia nová generácia optických prístupových sietí využíva na prenos vlnové multiplexovanie WDM (Wavelength Division Multiplex). Ide o umiestnenie väčšieho množstva oddelených vlnových dĺžok do jedného spoločného vlákna. Tieto siete sa nazývajú WDM-PON. Pre dosiahnutie maximálnej prenosovej rýchlosti kombinujú vlnové delenie s časovým, vzniknú hybridné prístupové siete WDM-TDMA PON.

3.2.1 Princíp WDM-PON

Vlnový multiplex WDM (Wavelength Division Multiplex) je založený na myšlienke spojiť niekoľko optických kanálov, ktoré boli predtým prenášané každý jedným vláknom, do jedného spoločného vlákna na základe vlnového či v podstate frekvenčného rozdelenia. WDM-PON je varianta bod-bod prístupová sieť, pretože u tejto technológie je pre každého koncového užívateľa pridelená rôzna vlnová dĺžka. Avšak vychádza z predchádzajúcich sietí mnohobodovej varianty. WDM-PON bola už štandardizovaná a rozdeľuje danú sieť na tieto typy. [3]

3.2.2 WWDM

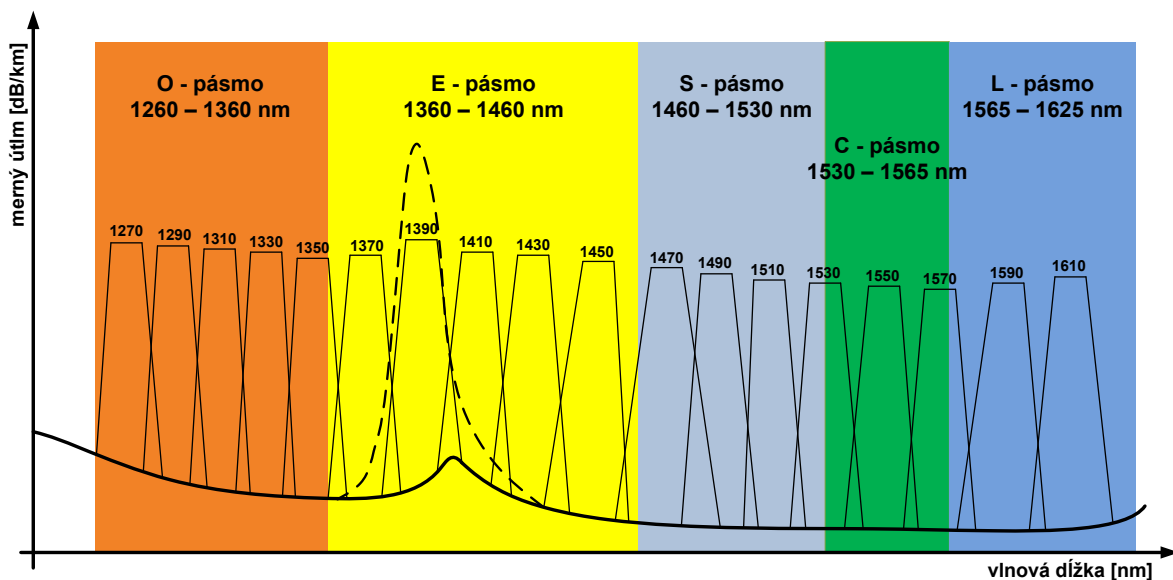
Vlnový multiplex WWDM (Wide Wavelength Division Multiplex) patrí medzi staršie technológie a je označovaný ako široký. Používa sa hlavne kvôli nízkym nákladom pre vytvorenie optickej siete. Využíva iba vlnové dĺžky v oblasti okolo 1310 nm a odstup jednotlivých vlnových dĺžok je 20 nm. Multiplex WWDM sa používa pre prenos Gbit/s a 10Gbit/s Ethernetu.

3.2.3 CWDM

Vlnový multiplex CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) je označený ako hrubý. Pre hrubé vlnové delenie boli definované kanály s prvou nosnou 1270 nm a poslednou 1610 nm a s odstupom medzi jednotlivými nosnými 20 nm a toleranciou $\pm 6,5$ nm. Väčšia medzera kanálov a dodatočná tolerancia je dôležitá z dôvodov použitia menej kvalitných optických zdrojov v optických prístupových sieti a v závislosti vysielanej vlnovej dĺžke na teplote.

Pre štandardne jednovidové vlákno je definovaných 18 kanálov rozdelených do nasledujúcich pásiem, ktoré sú zobrazené na obrázku 3.8:

- **pásmo O (Original):** vlnové dĺžky 1260 až 1360 nm a nosné číslo 1 až 5,
- **pásmo E (Extended):** vlnové dĺžky 1360 až 1460 nm a nosné číslo 6 až 10,
- **pásmo S (Short):** vlnové dĺžky 1460 až 1530 nm a nosné číslo 11 až 14,
- **pásmo C (Conventional):** vlnové dĺžky 1530 až 1565 nm a nosné číslo 15,
- **pásmo L (Long):** vlnové dĺžky 1565 až 1625 nm a nosné číslo 16 až 18. [21]



Obrázok 3.8: Kanály CWDM definované podľa ITU-T G.694.2.

Medzi najväčšie výhody CWDM technológie patrí:

- jej nižšia obstarávacia cena ako u DWDM,
- podobné aj ľahká realizácia na stavajúce optické trasy,
- nižšie energetické a priestorové nároky v porovnaní s DWDM,
- obsahuje veľkú možnosť vysieláčov,
- má jednoduchý management,
- tolerancia strednej vlnovej dĺžky kanálu je 6 až 7 nm.

3.2.4 DWDM

Vlnový multiplex DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) patrí medzi najdokonalejšie technológie a je označovaný ako hustý. Varianta DWDM využíva menšiu rozteč medzi jednotlivými kanálmi a potrebuje nižšiu toleranciu vlnovej dĺžky jednotlivých nosných. V rovnakom pásme je umiestnených väčšie množstvo vlnových dĺžok, typický 32, 64 a aj 96 v jednom pásme. Pri hustom multiplexu je treba použiť aktívne chladené optické zdroje (lasery typu DFB). Tieto zdroje zvyšujú celkové náklady na prevádzku. Pri využití v pasívnych optických prístupových sieťach sa využívajú pásma C a L s rozstupom nosných 0,8 nm, to by umožnilo prenos 32 až 80 vlnových dĺžok. Pre diaľkové a chrbticové optické spoje pásma C, L a S s rozstupom nosných 0,4 nm, to by umožnilo prenos 80 až 160 vlnových dĺžok v jednom optickom vlákne. Dnešné systémy DWDM umožňujú prenášať 2,5 až 10 Gbit/s v jednom optickom vlákne a ako som už spomínal prevádzkovať až 96 kanálov na jednom fyzickom spoji. [22]

Porovnanie najviac používaných vlnových multiplexu je zobrazené v tabuľke 3.2. Nejde určiť aká technológia je lepšia, ale pre menšie systémy je vhodnejšie CWDM technológia a pre chrbticové DWDM. Jednotlivé prenosové kanály sú špecifikované v oblasti vlnových dĺžok v rozsahu od 1490 do 1620 nm. Medzi najdôležitejšie výhody DWDM patrí:

- dokáže prenášať až 96 dátových kanálov na jednom optickom vlákne,
- prenosová rýchlosť je 2,5 až 10 Gbit/s v jednom optickom kanále,
- dosah až 100 km bez potreby zosilnenia signálu,
- ľahká rozšíriteľnosť o dátové kanály,
- viacnásobné využitie stavajúcich vlákien,
- protokol pre správu siete SNMP (Simple Network Management Protocol).

Tabulka.3.2: Porovnanie technológií WDM.

Technológia	CWDM	DWDM Regionálne siete	DWDM Diaľkové spoje
Kanál	4 až 16	32 až 80	80 až 160
Pásmo	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Medzi kanálový interval	20 nm 2500 GHz	0,8 nm 100 GHz	0,4 50 GHz
Prenosová kapacita na vlnovej dĺžke	1,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10 až 40 Gbit/s
Prenosová kapacita optického vlákna	20 až 40 Gbit/s	100 až 1000 Gbit/s	x Tbit/s
Typ laseru	nechladený DFB	chladený DFB	chladený DFB
Dosah	50 až 80 km	100 km	1000 km
Cena	nízka	vyššia	najvyššia

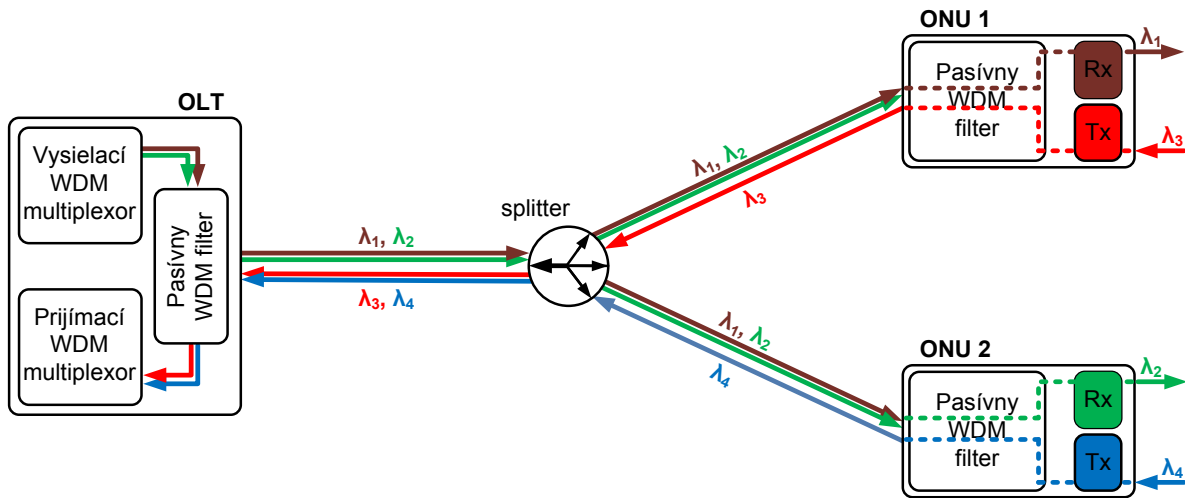
3.2.5 Varianty WDM-PON

Poznáme niekoľko spôsobov ako navrhnuť WDM-PON. Niektoré sú viac výhodné a niektoré zas naopak pre nasadenie do stavajúcich sietí. Rozdiel je tiež v zabezpečení, pretože niektoré varianty kopírujú nevýhody stavajúcich pasívnych optických sietí a existuje aj riziko odpočúvania.

Prvá varianta WDM-PON ráta iba z pevne pridelenými vlnovými dĺžkami jednotlivo všetkým koncovým jednotám ONT/ONU. Pri pripojení 16 koncových jednotiek do optickej siete budú použité vlnové dĺžky $\lambda_1 - \lambda_{16}$ a to v zostupnom smere. Pasívni rozbočovač uskutoční iba rozdelenie optického signálu do všetkých odchádzajúcich smerov, kde každá koncová jednotka dostane optický signál na všetkých vlnových dĺžkach $\lambda_1 - \lambda_{16}$ a pomocou pevne nastaveného vlnového filtra si vydolí každá koncová jednotka svoju určenú nosnú vlnovú dĺžku. Vo vzostupnom (opačnom) smere bude mať každá koncová jednotka určenú svoju jednotlivú vysielačnú vlnovú dĺžku $\lambda_{17} - \lambda_{32}$ na ktorej bude odosielať odchádzajúce dátové toky. Na obrázku 3.9 je možné vidieť iba dve ONU jednotky s λ_1, λ_2 pre zostupný a λ_3, λ_4 pre vzostupný smer. Z hľadiska architektúry siete sa jedná o pripojenie typu bod-bod. Komunikácia jednotlivých koncových jednotiek s jednotkou OLT prebieha na jednotlivých vlnových dĺžkach, i keď jedná vlnovú dĺžku označenú ako λ_b je vyhradená pre broadcastovú (hromadnú) prevádzku. Nevýhodou tejto varianty WDM-PON je:

- bezpečnosť a to prípadné riziko odpočúvania v zostupnom smere, kde sa vlnové dĺžky šíria všetkým koncovým jednotkám,
- pasívny rozbočovač má vysoký vložný útlm, ktorý limituje počet pripojených koncových jednotiek,

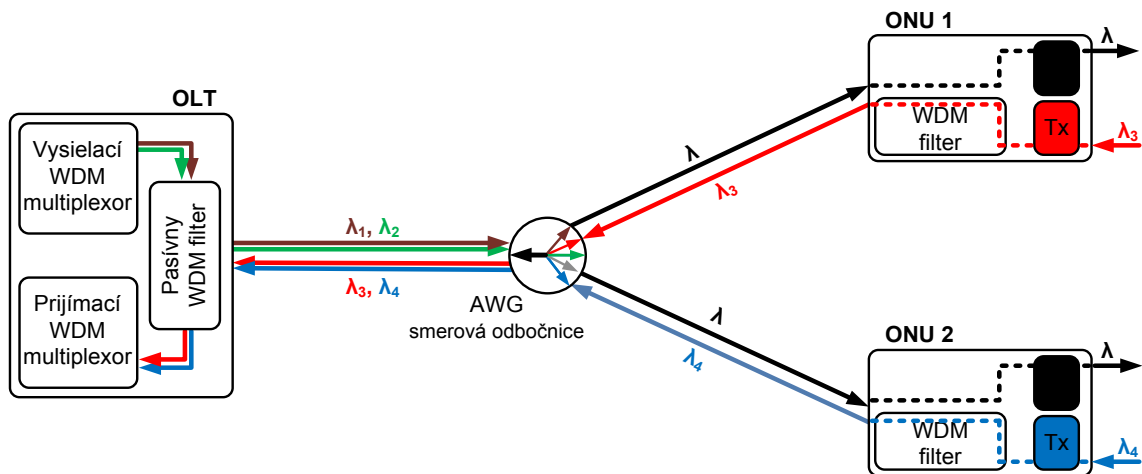
- v sieti nemôžu byť pripojené dve jednotky súčasne, ktoré komunikujú na rovnakých vlnových dĺžkach (nehospodárne nakladanie s prenosovými kapacitami).



Obrázok 3.9: WDM-PON z pevne pridelenými jednotlivými vlnovými dĺžkami.

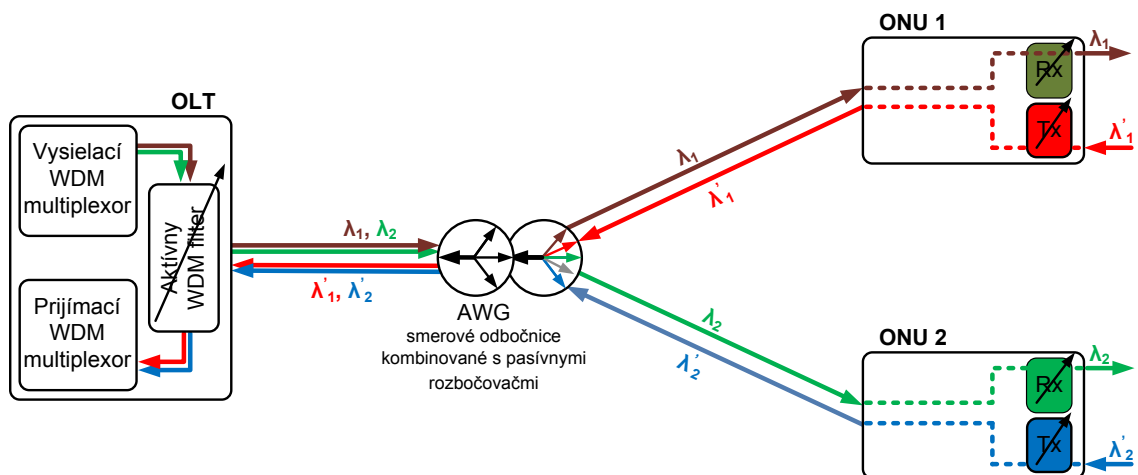
Druhá varianta WDM-PON využíva smerové odbočnice na základe delení vlnových dĺžok pomocou metódy AWG (Arrayed Waveguide Grating). V zostupnom smere sú teda smerové odbočnice pomocou metódy AWG vydelené jednotlivé vlnové dĺžky do určených smerov a ku koncovým jednotkám ONU/ONT sa ďalej šíria nosné v oddelených vláknoch na tej istej vlnovej dĺžke. Vo vzostupnom (opačnom) smere zostava princíp rovnaký ako v prvej variante. Teda každá koncová jednotka vysiela svoje dáta na už vyhradenej vlnovej dĺžke z danej množiny. Varianta WDM-PON s využitím smerovej odbočnice AWG je zobrazená na obrázku 3.10. Výhody tejto varianty sú:

- metóda AWG dokáže jednoducho pasívne vydeľovať prenášané vlnové dĺžky a odbočovať ich rovnomerne do všetkých výstupov vo forme jednotnej nosnej,
- AWG smerové odbočnice prinášajú zníženie vložného útlmu okolo 5 dB (nezávisle na odchádzajúce smery a použitých vlnových dĺžok),
- odstránenie pasívneho WDM filtru na vstupe koncovej jednotky, tým sa zmenší celkový útlm.



Obrázok 3.10: WDM-PON s využitím smerovej odbočnice AWG.

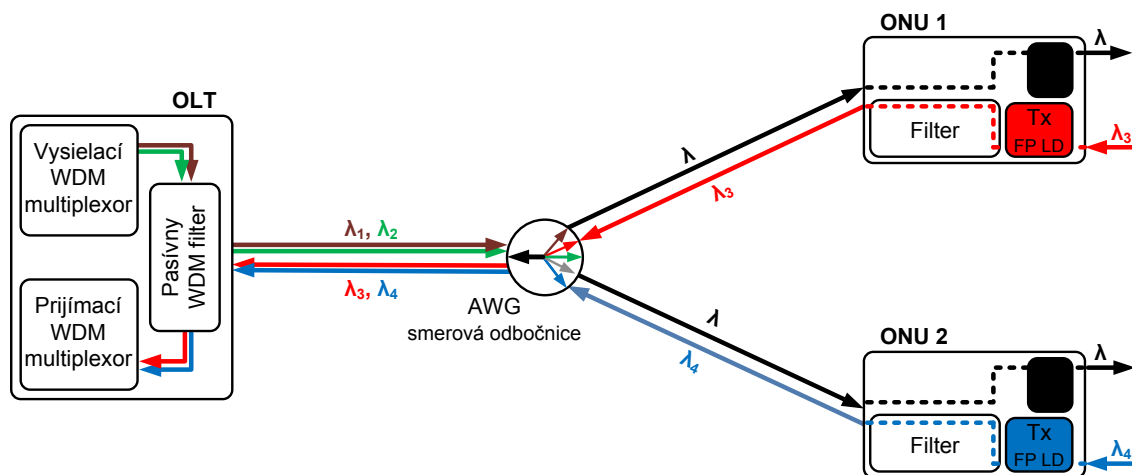
Tretia varianta WDM-PON využíva kaskádne zapojenie. Ide o kombináciu metódy AWG smerových odbočnic a pasívnych optických rozbočovačov, kde bude k jednotlivým výstupom optického rozbočovača zapojené AWG smerové odbočnice. Práve použitím N AWG smerových odbočnic sa dosiahne väčšej presnosti pri delení jednotlivých vlnových dĺžok (možnosť použitia hustého vlnového multiplexu DWDM). Použitím univerzálnych koncových jednotiek a voliteľných vlnových dĺžok umožňuje pridelovať kanály jednotkám na základe aktuálnej potreby a požiadavkám. Označuje sa tiež ako DWA (Dynamic Wavelength Assignment) a je podobná dynamickému pridelovaniu prenosových kapacít v sieťach s časovým delením. [3]



Obrázok 3.11: WDM-PON s použitím kombinácie AWG smerovej odbočnice a pasívneho optického rozbočovača.

Posledná varianta WDM-PON je založená rovnako na princípu AWG smerovej odbočnice, ale s rozdielom použitia iných koncových jednotiek ONU/ONT. Koncová jednotka používa Fabry-Pérotové lasery (FP lasery), ktoré sú opticky zavesené na stimulačnej vlnovej dĺžke prichádzajúca od smerovej odbočnice AWG. Svetelný lúč prechádza filtrom, kde sa pre prichádzajúci smer rozdelí

signál, ktorý potom pokračuje do prijímacej časti koncových jednotiek. Iná časť svetelného lúča pokračuje cez filter ďalej cez FP laser. Práve zavesením laseru na stimulačnú vlnovú dĺžku dôjde ku zmene jeho spektra. Z pôvodného spektra, ktoré sa skladalo z periodických vln sa zmenilo na spektrum s úzkou spektrálnou čiarou. Kvôli tomu môžeme FP laser používať ako vysielateľ v koncových jednotkách u WDM-PON.



Obrázok 3.12: WDM-PON s použitím FP laseru v koncových jednotkách ONU/ONT. [22]

3.3 SPON (Super PON)

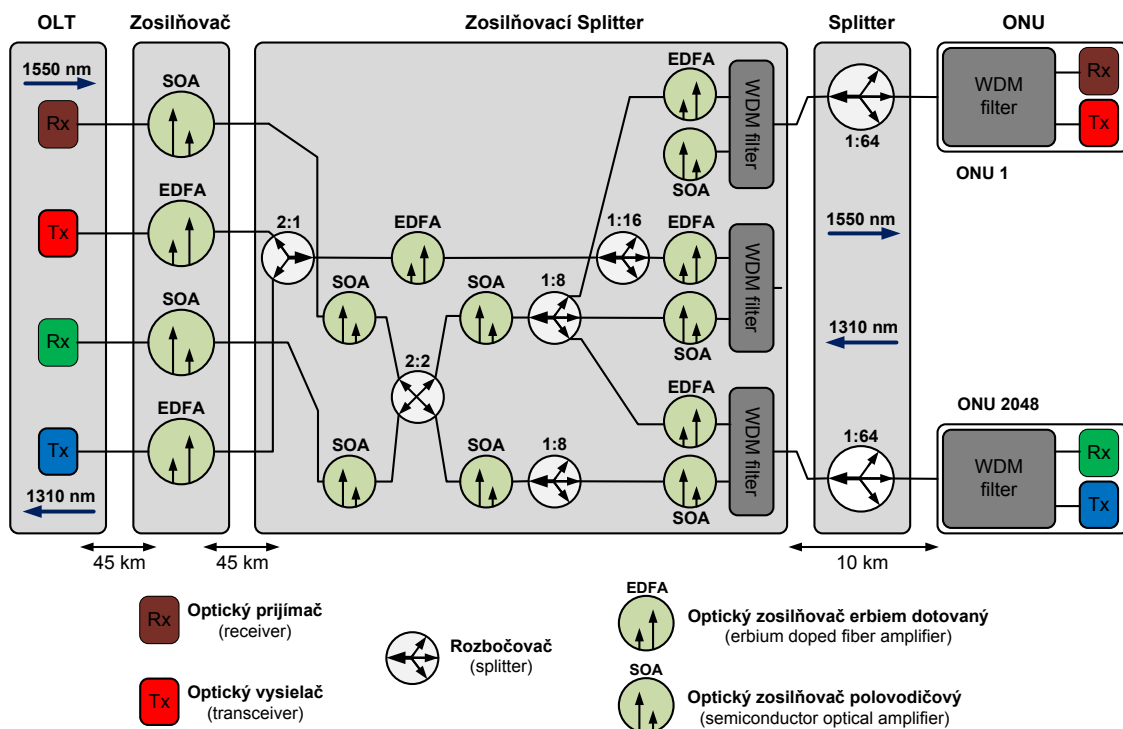
Vyvinutá firmou PLANET (Photonic Local Access Network), ktorá si na začiatku vývoja definovala základné parametre optickej siete Super PON. Preklenuteľná vzdialenosť musela byť 100 km a maximálny rozdeľovací pomer 1:2048. Vychádza zo štandardu normálnej PON (BPON), ale majú omnoho väčší rozdeľovací pomer. Zvýšenie základných parametrov v optickej sieti malo za následok nárast útlmu na celej optickej trase. Aby sa tieto straty mohli eliminovať boli vložené optické zosilňovače do oboch nadväzujúcich smeroch. Optické zosilňovače sú založené na princípu erbiem dotovaného vlákna.

V zostupnom smere (downstream) bol zvýšený vysielací výkon na jednotke OLT. Práve tým sa docielilo, že do chrbticového vlákna je poslaný veľmi silný optický signál, ktorý sa ešte zväčší už vloženými optickými zosilňovačmi. Do koncovej jednotky ONU príde dostatočný silný optický signál.

Vo vzostupnom smere (upstream) musí byť použitý tzv. zosilňovací splitter. Patrí medzi optické zosilňovače a je umiestnený paralelne medzi splittermi, tým je splnený rozbočovací pomer 1:2048. Bez použitia zosilňovacieho splitteru bude hodnota parametru SNR (odstup od šumu) väčšia ako 18,6 dB a pri tejto hodnote ide dosiahnuť iba polovičného rozdeľovacieho pomeru 1:1024. Tieto nežiaduce vlastnosti vytvárajú optické zosilňovače ASE. Paralelné zapojenie optických zosilňovačov zväčšuje vplyv celkovej hodnoty ASE a splitter potom funguje vo smere upstream ako zlučovač ASE.

Vzniká jav, ktorý sa nazýva „noise funneling“. Hodnota „noise funneling“ sa podarila zmenšiť iba zložitými protokolmi a iba pri zapnutí optického zosilňovača (potreba zosilniť optický signál).

Super PON nie je štandardizovaná, ale dá sa použiť v každej pasívnej optickej sieti. Prenosová rýchlosť vo smeru downstream bola zväčšená z pôvodných 622 Mbit/s na 2,5 Gbit/s. V opačnom smere upstream bola navýšená prenosová rýchlosť z 155 Mbit/s na 311 Mbit/s. Prenosové rýchlosti v oboch smeroch boli navýšené zo štandardu BPON a na združovanie kanálov je použitý časový multiplex TDM v kombinácii s vlnovým WDM. [25]



Obrázok 3.13: Super PON architektúra.

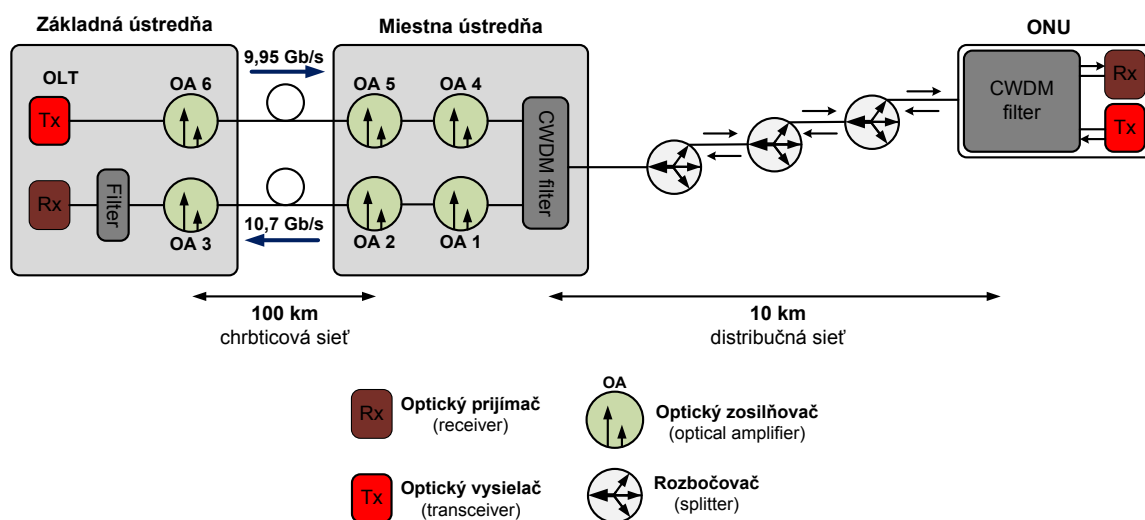
3.4 L-R PON (Long Reach PON)

Vyvinutá firmou British Telecom, ktorá sa pri vývoji snažila využiť vysokej prenosovej kapacity optického vlákna a celkovo malého útlmu. Firma chcela doceliť zmenšenie nákladov a to tým, že koniec optického vedenia je ukončený hlbšie v metropolitnej sieti. Optická prístupová sieť Long Reach PON dosahuje preklenuteľnú vzdialenosť až 100 km s maximálnym rozdeľovacím pomerom 1:1024 užívateľov na jednu vetvu a symetrickou prenosovou rýchlosťou 10 Gbit/s. S technológiou WDM má L-R PON v budúcnosti najväčšiu možnosť uplatnenia vo svete (môže sa použiť viac vlnových dĺžok). Pôvodná verzia počítala iba s jednou vlnovou dĺžkou. Využíva erbiem dopované zosilňovače, aby bolo možné prekonať vysokú vzdialenosť. V obidvoch smeroch potrebuje iba 6 zosilňovačov, oproti 39 zosilňovačom potrebných v štandarde SPON. Ako je možné vidieť na obrázku 3.14 prvé optické zosilňovače sú umiestnené v miestnej ústredni, teda hneď po splittroch.

Nevznikajú problémy s paralelným riadením optických zosilňovačov. Miestne ústredne disponujú elektrickou energiou pre optické zosilňovače. To je veľká výhoda danej siete. Do miestnej ústredne prichádza veľmi nízky optický signál, pretože distribučná sieť má veľký útlm 40 dB. Aby sa tento útlm eliminoval musí byť použitá dvojstupňová zosilňovacia fáza. V prvej sa zväčšuje hodnota SNR s použitím nízkošumového predzosilňovača. V druhej fáze sa dostatočne zosilní signál, aby dokázal prejsť úsek medzi miestnou ústrednou a OLT jednotkou. Ďalší optický zosilňovač je potreba umiestniť v mieste OLT jednotky. Tým sa znižuje útlm na chrbticovej časti, ale sa zväčšujú nežiaduci šum. Tu nastáva ďalší problém s optickým prijímačom. Pred optický prijímač musí byť umiestnený optický filter, ktorý znižuje bitovú chybovosť (BER). Optický filter funguje iba pri presne danej vlnovej dĺžke, tým sa cena ONU jednotky zväčšuje. Vlnová dĺžka laseru je teplotne závislá a môžu vznikať driftы v sieti. Daný problém sa vyriešil dvoma spôsobmi:

- použitím 10 Gbit/s ethernetovými vysielačmi – teplotne chladené TEC (Thermo Electric Cooler), nevýhodou je krátky dosah do 40 km,
- použitím elektronickej kompenzácie disperzie – dynamický chladený EDC (Electronic Dispersion Compensation), zabudované FIR filtre.

Sieť nie je zavedená priamo ku užívateľovi a snaží sa o čo najmenší počet vybavenia v uzloch. Technológia L-R PON je využívaná aj k poskytovaniu VDSL pripojenia prípadne pre rozhlasové stanice. Medzi distribučnou sieťou a ONU jednotkou sa nachádza pasívny úsek. Hlavné kvôli erbiem dopovaným zosilňovačom je úspora energie značne vysoká, iba 100 W oproti starším technológiám, ktoré spotrebovávali až 826 kW. V budúcnosti sa možno dočkáme, že sa podarí zlepšiť technológiu výroby optického vlákna a nebude treba optického zosilňovača. Zatiaľ sa to nepodarilo a bez použitia optického zosilňovača nie je možné túto vzdialenosť dosiahnuť. Optický zosilňovač je lepšie vložiť na koniec optického vlákna, tým sa nenaruší optické vlákno v trase.



Obrázok 3.14: Long Reach PON architektúra. [25]

4 Grafické prostredie WDM-PON Release 3

Grafické prostredie WDM-PON Release 3 obsahuje EA Manager 1100. EA Manager 1100 je systémový manažér pre správu a spravovanie utilít OLT a ONT, ktoré organizujú EA 1100 systémy. Poskytuje GUI rozhranie pre Java-based UI klientov, tým je zaručené užívateľovi sledovať a riadiť cieľový systém ľahko a pohodlne. Vykonávať opravy, či zlyhanie výkonu a bezpečnostné súvisiace funkcie pre zodpovedajúci sieťový prvok.

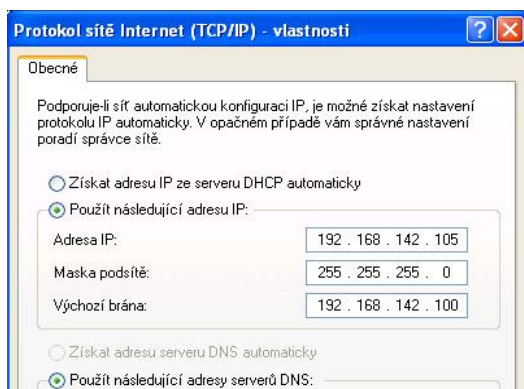
Správca EA 1100 poskytuje tieto funkcie pre správu sieťovej jednotky:

- sieťové dohľady siete, ktoré môžu byť zobrazené súčasne,
- panel ponúk a panel nástrojov pre prístup k nastaveniu a možnosti správy,
- komplexnú online napovedu, ktorá poskytuje na vysokej úrovni koncepcie a postupy pre vykonávanie úloh CMS,
- EA manager 1100, právo na prístup má tri režimy nastavenia možností: admin, údržba a monitorovanie.

4.1 Spustenie WDM-PON Release 3

Program, či grafické rozhranie WDM-PON Release 3 nazývaný aj ako EA Manager 1100 je možné nájsť na priloženom DVD nosiču v diplomovej práci. Inštalácia prebieha normálne ako každý program, počas inštalácie program iba skontroluje či je nainštalovaný JRE. Po úspešnom nainštalovaní sa zobrazí na obrazovke dvojica ikon. Pre spustenie programu použijeme ikonu EA Manager 1100 StandAlone. Pred spustením programu je treba nastaviť sieťové pripojenie, ktoré je zobrazené na obrázku 4.15. Potom môžeme spustiť program EA Manager 1100. Zobrazí sa prihlasovacie okno, ktoré je na obrázku 4.16, kde vyberieme nastavenú IP adresu a zadáme:

- USER ID: admin,
- PASSWORD: admin.



Obrázok 4.15: Sieťové pripojenie

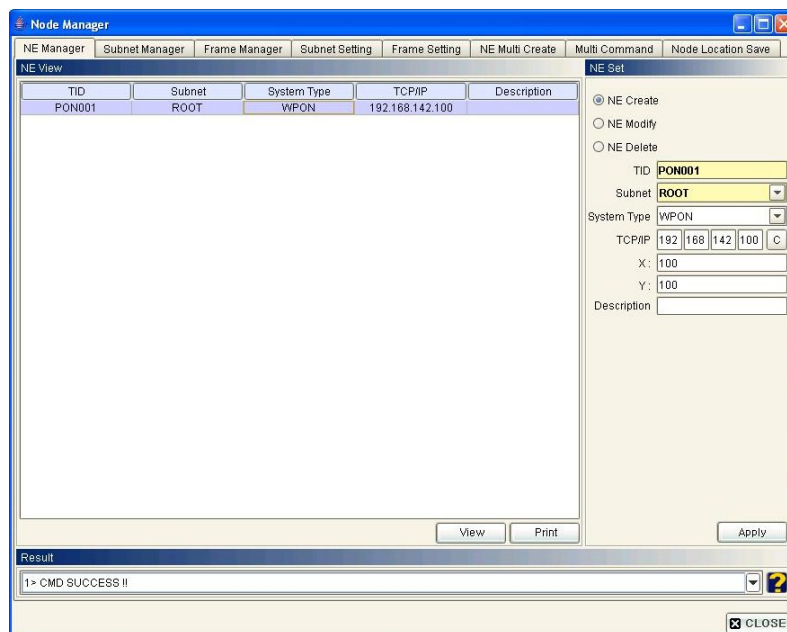


Obrázok 4.16: Prihlasovacie okno EA

4.2 Vytvorenie sieťového správcu (NE Manager)

Aby bolo možné pracovať, ovládať, nastavovať, spravovať či monitorovať systém WDM-PON je potrebné si vytvoriť sieťového správu (NE Manager). Táto činnosť sa musí vždy vykonať po inštalácii programu. Činnosť pozostáva z týchto krokov:

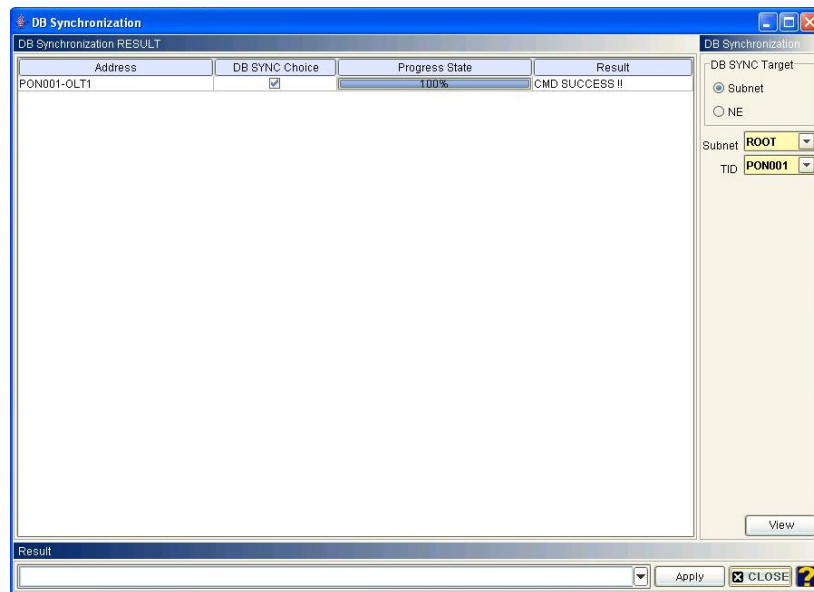
- na hlavnej lište menu vyberieme Node/Node Manager, otvorí sa nám okno Node Manager,
- vyberieme NE Manager a vytvoríme nového správcu (manažéra),
- vložíme TID: napr. PON001,
- vyberieme Subnet: ROOT,
- vyberieme System Type: WPON,
- a zadáme adresu brány TCP/IP: 192.168.142.100.



Obrázok 4.17: Okno Node Manager.

Nakoniec prejdeme ku synchronizácii súčasnej konfigurácie WDM-PON do softwaru tzv. synchronizovať DB. Synchronizácia pozostáva z týchto krokov:

- na hlavnej lište menu vyberieme System/DB Synchronization,
- otvorí sa nám okno DB Synchronization,
- vyberieme Subnet: ROOT,
- vyberieme TID: PON001,
- stlačíme tlačidlo View, kde sa nám zobrazí nastavený sieťový správca (manažér),
- stlačíme tlačidlo Apply,
- úspešná synchronizácia je indikovaná 100% a statusom CMD SUCCESS.



Obrázok 4.18: Okno DB Synchronization.

4.3 Grafické prostredie WDM-PON Release 3

Na obrázku 4.19 je zobrazené hlavné užívateľské grafické prostredie WDM-PON Release 3. Rozdelil som ho do piatich hlavných popisných bodov (panelov), ktoré znamenajú:

1) Panel nástrojov, ktorý obsahuje tieto ikony:

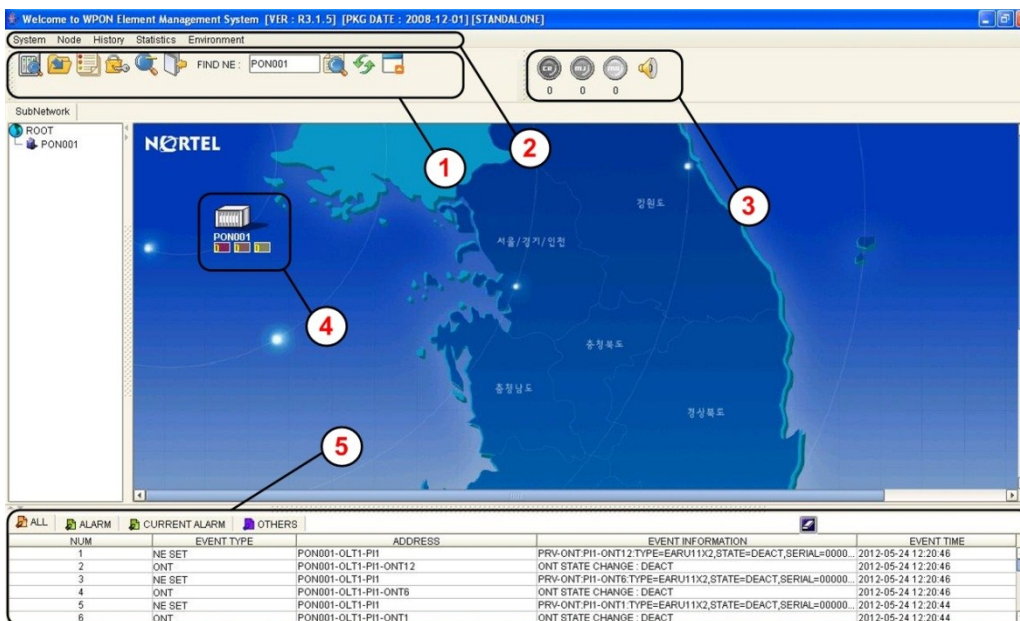
- otvorí sa okno pohľad na zariadenia (Equipment View), vizuálny pohľad na karty OLT jednotky,
- otvorí sa okno Node Manager, uloží sa uzol umiestnenia,
- otvorí sa okno History, zobrazí sa história alarmov celého NE,
- EA Manager 1100 sa zablokuje,
- redukcia grafického prostredia, otvorený iba hlavný panel ponúk (bod 1,2 a 3),
- ikona na odhlásenie,
- políčko FIND NE slúži na automatické vyhľadanie NE a zobrazí sa zodpovedajúca podsieť a NE.
- aktualizuje NE odkaz monitora.
- rozšíri hlavné menu o prídavné menu Equipment View.

2) Hlavný panel menu.

3) Panel nástrojov alarmu, ktorý obsahuje tieto ikony:

- kritické alarmy v sieti,
- hlavné alarmy v sieti,
- menšie alarmy v sieti,
- tlačidlo na vypnutie zvukov alarmu.

- 4) Vytvorený sieťový správca pre ovládanie, nastavovanie, spravovanie či monitorovanie systému WDM-PON cez grafické prostredie Release 3.
- 5) Poplachové informačné okno, ktoré zobrazuje všetky chybové udalosti.



Obrázok 4.19: Grafické prostredie WDM-PON Release 3.

V prílohe 1 je možné nájsť podrobný návod pre nastavenie rôznych parametrov, či služieb. Ako je práca s kartami (aktivácia či deaktivácia kariet), nastavenie DHCP, QoS – Band limit, Multicast, VLAN atď..

5 Triple Play služby

Triple Play služby sú služby prenosu hlasu, obrazu a dát, ktoré sú poskytované užívateľom obvyčajne prevádzkovateľom siete cez jednu zákaznícku zásuvku, či prípojku. Zo stále rastúcim vývojom nových technológií na prístupových sieťach sa užívateľom môžu ponúkať nové služby, ktoré do dnešnej doby neboli možné, kvôli šírke pásma, oneskoreniu prenosu a atď. V minulosti sa jednotlivé služby poskytovali osobitne. Dnes sa poskytovatelia snažia o poskytnutie komplexného balíku služieb, čo má veľmi veľkú výhodu pre užívateľov pretože využívajú všetky služby od jedného poskytovateľa. A naopak pre poskytovateľa sú zisky väčšie a to je žiadané v dnešnej dobe. [10]

Podľa spôsobu poskytovateľa rozdeľujeme služby na:

- **interaktívne služby:** informácie zo zdrojového miesta sa vysielajú na požiadanie zákazníka, video na pranie (VoD),
- **distribučné siete:** rovnaká informácia zo zdroja sa súčasne šíri väčšiemu počtu užívateľov, kde jednotlivý účastník nemá možnosť meniť časový alebo obsahový priebeh televízneho a rozhlasového vysielania.

Podľa typu prístupových sietí môžeme služby deliť na služby vedené po:

- metalických vedeniach: ADSL, ADSL2+,
- optických vedeniach: FTTH,
- opticko-metalických vedeniach: FTTB + ADSL.

5.1 Kvalita služby QoS

Kvalita služieb (QoS – Quality of Service) je súbor opatrení, ktoré zaisťujú určitý stupeň spokojnosti koncového užívateľa s danou službou, či službami. Zaisťuje pridelenie dostatočných prostriedkov využívanej siete, tak aby dokázali poskytovať danú službu v kvalite, ktorá je garantovaná poskytovateľom. Prenosové prostriedky siete, ktoré sú využívané množstvom aplikácií a užívateľov, sú rozdelené tak aby umožňovali fungovanie každej služby vopred garantovanými vlastnosťami siete. Paketový režim prenosu dát používaný v IP sieťach predstavuje skutočnosť, ktorá negatívne ovplyvní kvalitu prenášaného video toku v niekoľkých ohľadoch. Ide hlavne o oneskorenie (latency), zmenu poradia paketov (packet order), kolísanie oneskorenia (jitter) a stratu paketov (packet loss).

- **Celkové oneskorenie (latency)** je čas, ktorý prejde od odoslania správy zdrojovým uzlom po nasledovnom prijatí na cieľovom uzlu. Patrí sem aj oneskorenie v prenosovej trase a na zariadeniach, ktoré sú súčasťou trasy.
- **Zmena poradia paketov (packet order)** je priamym dôsledkom existencie oneskorenia, ale aj princípom jednotlivého smerovania každého paketu.

- **Kolísanie oneskorenia (jitter)** predstavuje variabilitu v doručení paketov do cieľového uzlu. Spôsobuje pretečenie alebo podtečenie vyrovnávajúcej pamäte v set-top boxu.
- **Stratovosť paketov (packet loss)** je priemerný počet stratených paketov za určité obdobie vyjadrené v percentách vzhľadom k celkovému počtu prenesených paketov.
- **Oneskorenie (delay)** je oneskorenie premennej veľkosti a vzniká naplneným paketom do fronty na odchádzajúcej strane.
- **Priepustnosť siete (bandwidth)** určuje kapacitu prenosového kanálu a je teda hlavným určujúcim parametrom pre ponuku poskytovaných služieb. Celková kapacita kanálu vyjadruje maximálne množstvo informácií prenesených za jednotku času. [12]

5.2 Služba IPTV

Analógové televízne vysielanie je postupne na ústupe a miesto neho nastupuje digitálne televízne vysielanie. Digitálne televízne vysielanie má niekoľko rôznych verzií a to satelitné vysielanie (DVB-S, DVB-S2), káblové vysielanie (DVB-C), podzemné vysielanie (DVB-T, DVB-T2), mobilné vysielanie (DVB-H) a aj digitálne vysielanie prostredníctvom dátovej siete (IPTV).

IPTV predstavuje televízne a rozhlasové vysielanie a tiež video na želanie (VoD), ktoré je poskytované cez vysokorýchlostné dátové siete. Služba IPTV pre koncového užívateľa vyzerá a funguje ako štandardné televízne vysielanie. Pre poskytovateľa, služba IPTV predstavuje spracovanie a bezpečné poskytovanie služby prostredníctvom dátových sietí, ktoré sú založené na IP protokolu. Poskytovateľ musí zaručiť úroveň kvality služby (QoS) a kvalitu vnímania (QoE), ale aj bezpečnosť a spoľahlivosť. Digitálny televízny signál je prenesený do televízora prostredníctvom dátovej siete, kde pomocou set-top boxu (na strane užívateľa) dôjde ku dekódovaniu IP paketov a následne ku prevedeniu toku na obraz do televízora.

5.2.1 Architektúra IPTV

Topológia siete pre šírenie IPTV pozostáva z týchto hlavných bodov:

- odbavovacie pracovisko – do siete prevádzkovateľa vstupujú televízne programy a rádiové stanice. Spôsoby získania staníc môže byť viacej. Predovšetkým sa jedná o satelitné (DVB-S, DBV-S), podzemné (DVB-T, analógové) a káblové (DVB-C) vysielanie. Odbavovacie centrum spracováva vstupné video alebo audio signály, ktoré môžu byť analógové alebo digitálne. Analógový signál je digitalizovaný a skomprimovaný pomocou kompresie (MPEG-2, MPEG-4/H.264). Digitálny signál môže byť zas prekódovaný do iného vhodného formátu.
- chrbticová sieť – z odbavovacieho pracoviská pokračuje prenos chrbticovou sieťou poskytovateľa, ktorá zaisťuje prenos dátových tokov do prístupovej siete (založená na

technológií IP/MPLS (prepínanie paketov po definovanej ceste na základe návestia)). Prístupová sieť posiela dátové toky k zákazníkovi.

- regionálne odbavovacie pracovisko – pridáva do vysielania regionálne zameraný obsah.
- zákaznícke priestory – tu sa nachádzajú zákaznícke zariadenia (set-top-box), dátové toky prevádza na signál, ktorý sa zobrazí na televízore. [12]

5.2.2 Prenos vysielania TV kanálov

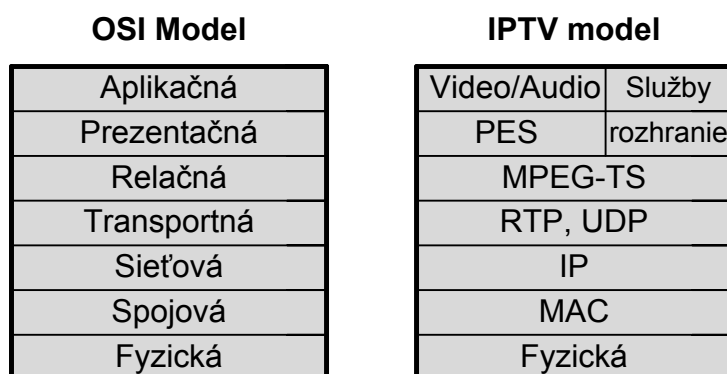
Využíva sa metóda, ktorá šetrí prenosovú kapacitu. Každý kanál IPTV a užívatelia, ktorý chcú sledovať určitý kanál sú pripojení do multicastovej skupiny. Kanál je prenášaný na set-top-box užívateľa, ktorý chce zobraziť. Len jedna kópia je odoslaná zo serveru na distribučný smerovač. Následne tento smerovač smeruje video tok do regionálnych pobočiek. Odtiaľ už k užívateľovi. Metóda využíva stavajúcu infraštruktúru IP sietí. V tejto sieti sa môžu vždy prejavovať chyby vo video toku. Narozdiel pri použití unicast, používaný pre VoD (video na požiadanie) je tento problém menší. Set-top box môže požiadať o opakované poslanie stratených alebo poškodených paketov. Pre vysielanie multicastom je dôležitejšie zaistiť bezchybný prenos od začiatku po koniec.

Prepnutie medzi TV programami vyžaduje prechod z jednej multicastovej skupiny do druhej. To vyžaduje operácie, ktoré nejakú dobu trvajú a sú zdrojom oneskorenia. Používa sa protokol IGMPv2 (Internet Group Management Protocol).

Služba video na požiadanie – VoD vyžaduje unikátny video tok k užívateľovi. Pre dátový tok je použitý prenos typu unicast. Dátový tok je riadený protokolom RTSP (Real Time Streaming Protocol), ktorý umožňuje kontrolu nad prenosom a dovoľuje prehrávanie, pozastavenie a zastavenie sledovaného programu. [10]

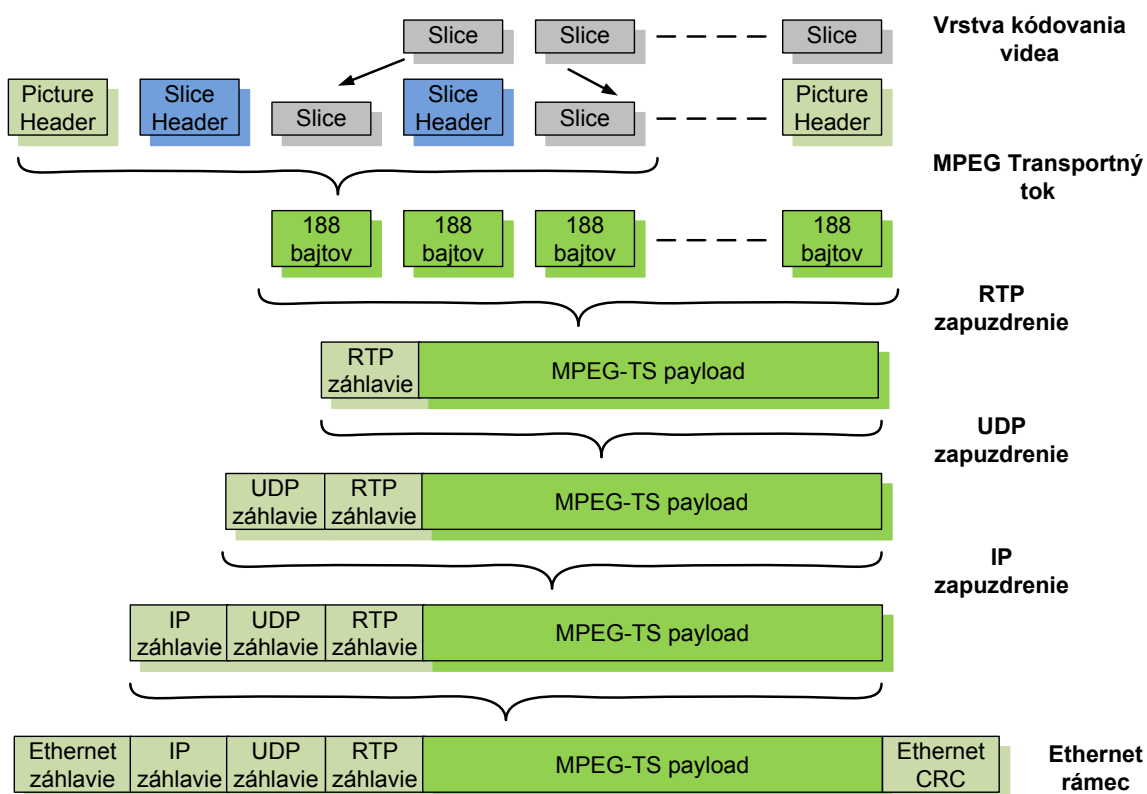
5.2.3 Použité protokoly a kodeky v IPTV

Predtým ako sa pošle video obsah do siete je treba video signály upraviť pre prenos v dátových sieťach a až potom preniesť ku koncovému užívateľovi. Vstupný video signál môže byť analógový alebo digitálny. Analógový signál je ďalej pomocou kodéru digitalizovaný a následne skomprimovaný pomocou vhodnej kompresie (MPEG-2, MPEG-4). Tým vznikne súvislý dátový tok (video, zvuk), ktorý je rozdelený do malých blokov PES (základný paketový tok).



Obrázok 5.20: Vrstvový model IPTV.

Bloky dát sú tvorené záhlavím snímok a záhlavím blokov dát. Jednotlivé časti základného paketového toku majú veľkosť 188 bajtov. Následné prejde ku združovaniu do prenosového dátového toku MPEG-TS. Do jedného ethernet rámcu je možno vložiť až 7 blokov. Takto spracovaný video signál vstupuje do spodných štyroch vrstiev OSI modelu, ktoré slúžia k ďalšiemu zapuzdreniu prenášaného video signálu a k jeho prenosu medzi zdrojom a koncovým užívateľom.



Obrázok 5.21: Zapuzdrenie. [17]

MPEG-2/H.262

MPEG-2 je často používaný formát digitálneho televízneho signálu, ktorý je vysielaný terestriálnymi, káblovými, a DVB-S TV systémami. Je to tiež formát na ukladanie filmov

na DVD a podobné disky. TV stanice, TV receivery, DVD prehrávače, a iné zariadenia tiež spĺňajú tento štandard. MPEG-2 bol vyvinutý Moving Pictures Expert Group (MPEG) v poradí ako druhý zo štandardov a je to medzinárodný štandard (ISO/IEC 13818). Časti 1 a 2 štandardu MPEG-2 boli vyvinuté v spolupráci s ITU-T, a majú svoje príslušné katalógové číslo v ITU-T sérii. MPEG-2 definuje dva rozdielne kontajnery. Jeden je MPEG-TS, určený na prenos digitálneho videa a audia cez stratové médium, ako je vysielanie, napr. ATSC a DVB. MPEG-2 systém tiež definuje MPEG-PS, kontajner určený na spoľahlivé média ako optické disky, DVD a SVCD.

MPEG-4 AVC/H.264

H.264, MPEG-4 AVC je novší komprimačný algoritmus videozáznamov. MPEG-4 AVC komprimované video sa prenáša v transportnom toku (kontajneri) MPEG-2. Nástup televízie s vysokým rozlíšením si vyžiadala nasadiť účinnejšie kompresné metódy, aby sa existujúca kapacita lepšie využila. Účinná kompresia podľa H.264 bude zaujímavá aj pre tých, ktorí potrebujú úsporne archivovať alebo sťahovať/odosielať videonahrávky. Kodeky H.264 umožnia oproti MPEG-2 znížiť nároky na kapacitu pri prenose video dát dvoj až trojnásobne.

UDP protokol

UDP (User Datagram Protocol) - používateľský datagramový protokol, je tzv. nespoľahlivý protokol z balíka internetových protokolov. UDP protokol prenáša datagramy medzi počítačmi v sieti, ale na rozdiel od TCP nezaručuje, že prenášaný paket sa nestratí, že sa nezmení poradie paketov, ani že sa niektorý paket nedoručí viackrát. Vďaka tomu je UDP pre ľahké a časovo citlivé účely rýchlejší a efektívnejší. Jeho bezstavová povaha je užitočná aj pre servery, ktoré odpovedajú na malé požiadavky mnohých klientov. UDP sa používa napríklad na DNS, streamované médiá, prenos hlasu alebo videa (VoIP) a online hry.

RTP protokol

RTP (Real-time Transport Protocol) - protokol komunikácie v reálnom čase je transportný protokol, ktorý zabezpečuje doručovanie interaktívnych dát (najčastejšie je to video a audio) v reálnom čase. Presnejšie zaisťuje doručenie segmentov v správnom poradí pomocou časových pečiatok (timestamp), sekvenčných čísel a pod. Protokol poskytuje služby na identifikáciu obsahu (payload), sekvenčné číslovanie, časové pečiatky a monitorovanie doručenia. Typicky beží RTP na UDP protokole, môže byť ale použitý aj v iných sieťových a transportných protokoloch. Treba poznamenať, že RTP sám o sebe neposkytuje žiadny mechanizmus na zaistenie včasného doručenia dát alebo poskytovania nejakého QoS (Quality of Service), ale spolieha sa na služby nižších úrovní. Sekvenčné číslo obsiahnuté v RTP umožňuje prijímateľovi rekonštruovať postupnosť segmentov od

odosielateľa, môže byť ale tiež použité na určenie správnej pozície segmentu, napr. pri dekódovaní videa bez nutnosti dekódovať predchádzajúce segmenty. [12]

5.2.4 Subjektívne metódy pre meranie kvality IPTV

Tieto metódy sú používané skupinou užívateľov k posúdeniu kvality obrazu. Sú založené na pociť, ktorý testovací videozáznam zanechá na skupine pozorovateľov. Veľkým plusom tohto hodnotenia je skutočnosť popísania technickej kvality videozáznamu na ktorý sa pozerá daný človek, či skupina ľudí. Vďaka tomu sa dajú obmedziť informácie nepostrehnuteľné ľudskými zmyslami. Subjektívne hodnotenie kvality služby IPTV začína vybratím vzoriek videa pre dané testovanie, vybratím niekoľkých konfiguračných parametrov, nastavením testovacieho prostredia, ktoré spĺňa požadované konfiguračné parametre. Potom prejdeme k zoskupeniu niekoľkých ľudí pre uskutočnenie testu a uskutočníme test a analyzujeme výsledky. Subjektívne metódy pre meranie kvality sú napríklad MOS, DSCQS, DSIS a ACR.

- **MOS (Mean Opinion Score)**, systém testovania bol definovaný ITU a prebieha v týchto krokoch. Najprv je zostavená séria vzoriek testovaných videí. Potom sa určí zostava parametrov, ktoré budú predmetom hodnotenia vybraných ľudí (od 18 až viac). Po nájdení vhodných ľudí, vytvoríme prostredie pre test, začneme samotné testovanie. Skupina osôb číselne ohodnotí výsledný dojem z pozorovaného vzorku videa podľa stupnice hodnotenia v tabuľke 5.3.

Tabuľka.5.3: MOS (Mean Opinion Score).

MOS	Kvalita DSCQS	Znehodnotenie DSIS
5	výborná	nepostrehnuteľná
4	dobrá	postrehnuteľná, ale neobťažujúca
3	slušná	mierne obťažujúca
2	zlá	obťažujúca
1	nevhodná	veľmi obťažujúca

Výsledná hodnota MOS je zložená z priemeru nameraných výsledkov. MOS hodnotenie je definované vo štyroch rôznych variantoch, viac tabuľka 5.4.

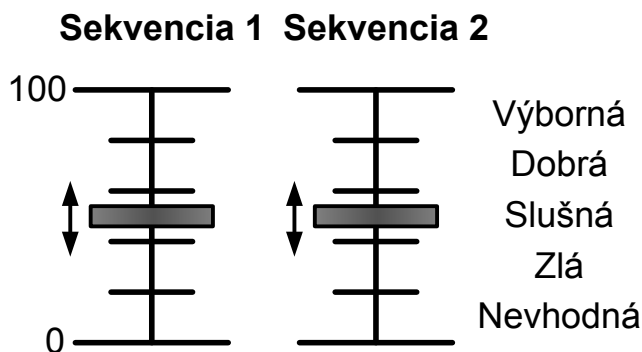
$$MOS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^5 i \cdot p(i), \quad (5.1)$$

kde i je úroveň poškodenia (tabuľka 5.3.), $p(i)$ je zrozumiteľnosť stupňa a N je daný počet hodnotení.

Tabuľka.5.4: Varianty MOS.

Varianta	Hodnotenie kvality
MOS-V	videa
MOS-A	zvuku
MOS-AV	videa a zvuku
MOS-C	IPTV služby

- **DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale)**, ide o subjektívne hodnotenie dvojice sekvencií (referenčnej a testovanej). Hodnotenie prebieha pri zobrazení počas krátkej doby (8 až 10 sekúnd) a v náhodnom poradí. Tým sa docieli, že pozorovateľ nevie, ktorá sekvencia je referenčná a ktorá naopak testovaná sekvencia. Kvalita je hodnotená podľa stupnice v rozsahu od 0 do 100 a musí byť vybavená slovami (výborná, dobrá, slušná, zlá a nevhodná). Stupnica je zobrazená na obrázku 5.22. Ku testovaniu treba aspoň 15 pozorovateľov, ktorí sú rozdielni a sú schopný daného testovania.
- **ACR (Absolute Category Rating)**, metóda hodnotí obrazy alebo sekvencie obrazov. Pozorovateľ hodnotí kvalitu obrazu pomocou päť bodovej stupnice do desiatich sekúnd.



Obrázok 5.22: Spojitá stupnica kvality používaná u metódy DSCQS.

5.2.5 Objektívne metódy pre meranie kvality

Tieto metódy používajú k určeniu kvality predovšetkým matematické výpočty. Testuje sa kvalita videosignálu na základe porovnaní obrazových snímok s komprimovanou verziou a degradovanou kvalitou signálu. Sú omnoho rýchlejšie, jednoduchšie a lacnejšie ako subjektívne metódy. Medzi objektívne metódy patria nasledovné metódy:

- **MSE (Mean Square Error)** reprezentuje strednú kvadratickú odchýlku prijatého signálu od signálu pôvodného.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{ij} - y_{ij})^2 [-] \quad (5.2)$$

kde x je originálny obraz, y je prijatý obraz, i a j sú prvky matice, M je počet pixlov na výšku obrazu a N je počet pixlov obrazu na šírku.

- **PSNR (Peak Signal to Noise ratio)** predstavuje pomer medzi najväčšou hodnotou signálu voči MSE, výsledok sa udáva v decibeloch. Patrí medzi najviac používané objektívne metódy merania kvality. Vyjadruje aj veľkosť stratovej kompresie kodekov.

$$PSNR = 10 \cdot \log \frac{m^2}{MSE} [dB] \quad (5.3)$$

kde m je maximálna hodnota, ktorú môže pixel získať.

- **SSIM (Structural Similarity Index)** je nová metóda, ktorá zohľadňuje ľudský vizuálny systém. Porovnáva podobnosť medzi dvoma obrázkami. SSIM bol navrhnutý pre zlepšenie predchádzajúcich metrík MSE a PSNR, ktoré sa ukázali byť v rozpore s ľudským vnímaním. Referenčné hodnoty SSIM sú v intervale $[0,1]$, kde 0 znamená nulový vzťah originálneho obrázku a 1 je docielená pri porovnaní dvoch rovnakých obrázkoch.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma, \quad (5.4)$$

kde člen $l(x, y)$ porovnáva jas signálu, $c(x, y)$ porovnáva kontrast signálu a $s(x, y)$ meria štruktúrnu koreláciu, ktorá je vypočítaná zo vzťahov (5.5), (5.6) a (5.7).

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (5.5)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (5.6)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}, \quad (5.7)$$

kde μ_x a μ_y predstavuje pomer zo vzorku x a y (vzorce (6.8) a (6.9)), σ_x a σ_y predstavuje rozptyl zo vzorku x a y (vzorce (6.10) a (6.11)).

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (5.8)$$

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad (5.9)$$

$$\sigma_x = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5.10)$$

$$\sigma_y = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5.11)$$

kde σ_{xy} predstavuje kovarianciu vzorkou x a y . Konštanty C_1 , C_2 a C_3 sa užívajú ku stabilizácií v prípade, že priemer a rozptyl sú veľmi malé. Parametre $\alpha > 0$, $\beta > 0$ a $\gamma > 0$ sa používajú k nastaveniu relatívnej dôležitosti z troch zložiek. Pre zjednodušenie SSIM je použitá hodnota parametrov ($\alpha=\beta=\gamma=1$ a $C_3=C_2/2$), potom vzťah (6.4) bude vyzerat' jednoduchšie podľa rovnice (6.12).

$$SSIM(x, y) = \left(\frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \right) \cdot \left(\frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \right), \quad (5.12)$$

- **MDI (Media Delivery Index)** lokalizuje a charakterizuje problémy v sieti, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvniť kvalitu prenášaného A/V toku. MDI sa zobrazuje ako dve čísla, ktoré sú oddelené dvojbodkou a obsahuje faktor oneskorenia (Delay factor - DF) a pomer stratovosti (Media loss rate - MLR) a to DF:MLR. Delay factor je časová hodnota v ms a udáva veľkosť vyrovnávacej pamäte, aby bolo eliminované kolísanie oneskorenia (9 až 50 ms). Media loss rate je počet stratených paketov alebo pakety mimo poradia za sekundu. Nenulový MLR nepriaznivo ovplyvňuje kvalitu videa a môže predstavovať deformovaný obraz.
- **MPQM (Moving Pictures Quality Metric)** sa používa pre posúdenie kvality komprimovaného video toku MPEG. Používa technológiu, ktorá kopíruje prežitok ľudského pozorovateľa a hodnoty na stupnici od 1 do 5. [20]

5.3 Služba VoIP

Služba prenosu hlasu prostredníctvom dátovej siete nazývame VoIP (Voice over Internet Protocol). Táto služba má z Triple Play služieb najnižšiu náročnosť na šírku pásma, ale je dostatočne citlivá na oneskorenie a kolísanie oneskorenia. Na komunikáciu na strane účastníka sa používa IP telefón alebo počítač. Dátová sieť poskytovateľa hlasovej služby je spojená s telefónnou ústredňou, ktorá je zapojená do siete verejnej telefónnej služby PSTN. Toto umožňuje telefonovanie do všetkých sietí za omnoho lepšie poplatky ako v bežnej telefónnej službe.

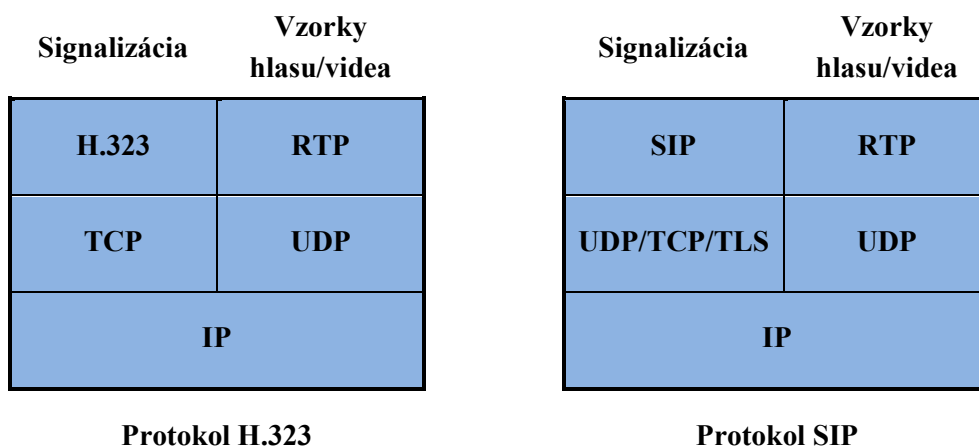
5.3.1 Požiadavky na prenos v IP telefónii

V telefónii s prepojovaním paketov rozlišujeme dva typy paketov – pakety signalizácie a pakety obsahujúce užívateľské dáta, najčastejšie hlasové vzorky. Pre prenos signalizácie sú v IP

telefónii používané hlavné dva protokoly H.323 a SIP. Protokol H.323 bol navrhnutý Medzinárodnou telekomunikačnou úniou ITU a je zameraný na IP telefónii. Protokol SIP (Session Initiation Protocol) je popísaný v doporučení IETF RFC 3261. Protokol SIP je zameraný na zostavenie multimediálnych relácií, telefónny hovor je považovaný za typ takej relácie.

Protokol H.323 používa pre prenos signalizácie protokol transportnej vrstvy modelu OSI nazvaný TCP, ktorý v prípade strát paketov zaručuje doručenie správy opakovaným prenosom. Protokol SIP umožňuje použitie jedného z nasledujúcich dvoch protokolov na úrovni transportnej vrstvy, UDP (User Datagram Protocol) alebo TCP (Transmission Control Protocol). Protokol UDP narozdiel od TCP nezaručuje doručenie dát, SIP preto definuje opakované odosielanie správ v prípade neobdržania odpovedi. Straty sa v oboch prípadoch prejavujú väčším oneskorením prenosu. SIP umožňuje tiež použitie protokolu TLS (Transport Layer Security Protocol), ktorý zaisťuje zabezpečenie signalizačných dát.

Skutočný problém nastáva pre pakety hlasu. Pakety sú prenášané pomocou UDP na úrovni transportnej vrstvy a pomocou protokolu RTP (Real-Time Transport Protocol) na úrovni vrstvy relačnej. Protokol UDP zaisťuje iba adresovať konkrétnu aplikáciu v rámci cieľovej IP adresy a integritu prenášaných dát pomocou kontrolného súčtu. Každý hlasový paket môže byť stratený alebo doručený viackrát. Protokol RTP zaisťuje služby pre prenos hlasových alebo video vzorkou, typu vzorku, časové údaje, údaje o poradí a vzorky samotné. Prípadne straty paketov nie sú riešené týmito protokolmi. Aby bola dodržaná vysoká kvalita hovoru musia byť pakety doručené bez strát s nízkym oneskorením a s nízkym kolísaním oneskorenia. Hierarchia hlavných protokolov používaných v IP telefónii je zobrazená na obrázku 5.23. [10]



Obrázok 5.23: Hierarchia protokolu IP telefónie.

Využitie protokolov IP nie je problematické pre signalizáciu, môže však negatívne ovplyvniť prenos dátových paketov. Kvalita prenosu hlasu, či videa je ovplyvnená nasledujúcimi faktormi: [10]

- straty paketov,
- oneskorenie paketov,
- variabilita oneskorenia paketov,
- zmena poradia paketov.

5.3.2 Metódy merania kvality služby VoIP

Metód pre posudzovanie kvality hovoru existuje veľa. Tieto metódy je dobre rozdeliť do dvoch základných skupín na:

- konverzačné testy,
- posluchové testy.

Z týchto skupín sa rozdeľujú kvality na konverzačnú CQ (Conversational Quality) a posluchovú LQ (Listening Quality). Konverzačné testy sú založené na vzájomnej interaktívnej komunikácii dvoch subjektov cez prenosový reťazec testovaného systému. Tieto testy poskytujú najrealistickejšie testovacie prostredie, avšak sú zo všetkých ostatných spôsobov testovania najviac časovo náročné. Častejšie sú doporučené práve testy posluchové, ktoré však nedosahujú takej vierohodnosti ako testy konverzačné, pretože ich obmedzenie v niektorých ohľadoch je menej tvrdé.

Ďalej tieto testy rozdeľujeme podľa spôsobu ohodnotenia a to na:

- subjektívne metódy,
- objektívne metódy.

Pre ohodnotenie kvality reči sa využíva stupnica MOS (Mean Opinion Score), ktorá je zobrazená v tabuľke 5.5, definovaná doporučeným ITU-T P.800. Výstupom obidvoch metód je priamo hodnota MOS alebo s miernou modifikáciou stupnice podľa potreby.

Výpočet R faktoru sa vypočíta podľa nasledujúcej rovnice:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A, \quad (5.13)$$

kde R_0 je odstup signálu od šumu. U zjednodušeného modelu $R_0 = 94,7688$. I_s je simultánny faktor rušenia. Neoddeliteľná zložka hovoru, ktorú nemožno odstrániť (šumy s okolia a atď.). U zjednodušeného modelu $I_s = 1,4136$. I_d je faktor oneskorenia zahrňujúci všetky druhy oneskorenia vrátane oneskorenia ozveny. Pri oneskorení pod 100ms je $I_d = 0$. A je faktor zvýhodnenia, ktorý závisí na sústredenosti poslucháča. I_{e-eff} je faktor zhoršenia spôsobený vplyvom použitého kodeku. Vypočíta sa z nasledujúcej rovnice:

$$I_{e-eff} = I_e + (92 - I_e) \cdot \frac{Ppl}{\frac{Ppl}{BurstR} + Bpl}, \quad (5.14)$$

kde I_e je faktor zhoršenia daným kodekom. Ppl je stratovosť paketov v percentách. $BurstR$ je rozloženie stratovosti paketov, pokiaľ $BurstR = 1$ tak ide o náhodné rozloženie, pokiaľ $BurstR < 1$, tak potom stratovosť má sluchový charakter. Bpl je odolnosť kodeku proti stratovosti.

Vzt'ah pre prevod hodnôt R faktoru na hodnotu MOS je nasledovný:

$$MOS = \begin{cases} 1 & R \leq 6,5 \\ 1 + 0,035 \cdot R + R \cdot (R - 60) \cdot (100 - R) \cdot 7 \cdot 10^{-6} & 6,5 \leq R \leq 100, \\ 4,5 & R > 100 \end{cases} \quad (5.15)$$

Tabuľka.5.5: Hodnoty z odporúčenia ITU-T G.113. [20]

Kodek	I_e	t [ms]	Bpl
G.723.1	15	30	16,1
G.729	10	20	19
GSM	5	20	10
G.711 – bez PLC	0	10	4,3
G.711 – s PLC	0	10	25,1

5.3.3 Objektívne metódy pre meranie kvality

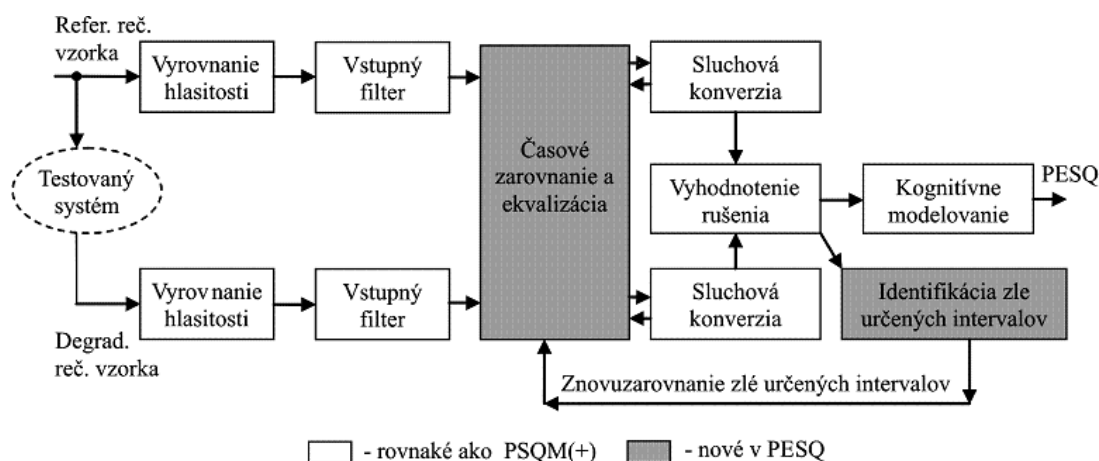
Kvalita degradovanej vzorky sa vyhodnocuje štatisticky z matematických modelov, ktoré viac alebo menej modelujú ľudský sluchový aparát. Tieto merania nie sú tak časovo a finančne náročné, ale výsledná kvalita prenosu reči je len odhadom MOS a závisí na presnosti matematického modelu.

Návrh objektívnych metód merania založenej na ľudskom vnímaní začal v 80-tych rokoch. V roku 1996 bol štandardizovaný algoritmus PSQM ako odporúčanie ITU-T Rec. P.861 pre meranie kvality prenosu reči. Tento algoritmus najlepšie koreloval so subjektívnymi testami. S postupným vývojom rečového kódovania, a to hlavne pre hlasové prenosy cez IP, museli byť vyvinuté nové algoritmy testovania kvality prenosu reči, nakoľko PSQM nepokrýval celú oblasť rušenia. V roku 2000 bol štandardizovaný algoritmus PESQ (Perceptual Estimation of Speech Quality) ako ITU-T Rec. P.862. Medzi objektívne metódy patria nasledovné metódy:

- **PSQM (Perceptual Speech Quality Measure)** Algoritmus na výpočet kvality prenosu rečového signálu na základe modelu ľudského vnemu bol vyvinutý Beerendsom v roku 1993. Na obrázku 5.24 môžeme vidieť blokový diagram základného modelu PSQM

algoritmu. Vo vnútri algoritmu PSQM sú fyzikálne signály vstupnej reči a kódovanej reči mapované do psychoakustickej reprezentácie tak, že odpovedajú vnútorným reprezentáciám rečových signálov (reprezentované vo vnútri ľudskej hlavy). Ako je vidieť z obrázka 5.24, kvalita kódovanej reči sa rozhoduje na základe diferencie vnútorných reprezentácií. Táto diferencia je použitá pre výpočet šumového rušenia ako funkcie času a frekvencie. V PSQM priemerné šumové rušenie je priamo závislé od kvality kódovanej reči. Okrem modelovania vnemu, metóda PSQM využíva tiež kognitívny model, čo spravidla vedie k vysokej korelácii medzi subjektívnymi a objektívnymi meraniami.

- **PESQ (Perceptual Estimation of Speech Quality)** v súvislosti s nástupom VoIP ITU bol vytvorený štandard s požiadavkou vyrovnania sa s novými rušeniami v moderných telekomunikačných sieťach. Merací algoritmus v týchto sieťach sa musel vysporiadať s väčším rušením ako v kódokoch GSM, ale predovšetkým s tým, že oneskorenie medzi referenčnou a testovanou vzorkou nie je vždy konštantné. Prvým priblížením k prekonaniu týchto problémov bol vývoj PSQM+. Tento algoritmus dobre ohodnocoval veľké rušenie zapríčinené napr. výpadkom paketov, ale stále mal problém s kompenzáciou rôzneho oneskorenia. V algoritme PSQM+ je implementovaná jednoduchšia funkcia na sledovanie oneskorenia pracujúca v reálnom čase, ale tá pri niektorých signáloch zlyháva. V novom doporčení ITU-T Rec. P.862 (PESQ) je tento problém eliminovaný. Kombinuje vynikajúci psychoakustický a kognitívny model PSQM+ s algoritmom časového zarovnania, ktorý dokonale pracuje so signálmi s rôznym oneskorením. No jeden z nedostatkov PESQ je to, že nie je použiteľný pre aplikácie pracujúce v reálnom čase. To je dôvod, prečo algoritmus PESQ úplne nenahradil PSQM+.



Obrázok 5.24: Bloková schéma algoritmu PESQ (PSQM). [10]

5.3.4 Štandardy rečových signálov

ITU štandardy sú určené na prenos rečových signálov v telekomunikačných sieťach, pričom prvý štandard G.711 bol finalizovaný v roku 1992 a bol určený pre siete PSTN. V súčasnosti sa počet ITU štandardov v súvislosti s rozvojom telekomunikačných sietí značne zvýšil.

- **G.711** - V tomto štandarde sa pre rečový signál so šírkou pásma 3,1 kHz používa vzorkovania frekvencia 8 kHz a kvantovanie vzorky na 8 bitov. Potrebná prenosová rýchlosť je 64 kb/s. Tento štandard používa metódu PCM, a rečový signál sa kóduje pomocou A resp. μ zákona.
- **G.729** - Tento štandard bol vytvorený prednostne pre aplikáciu mobilných sietí. Kodér na báze G.729 sa vyznačuje nízkou prenosovou rýchlosťou 8 kb/s. Veľkosť rámca sa stanovila na 10 ms, čo umožnilo dosiahnuť kompromis medzi kvalitou rekonštruovaného rečového signálu a výpočtovou zložitou kódujúceho algoritmu. Oneskorenie v dôsledku prekrytia rámcov (lookahead) je 5 ms, celkové oneskorenie 25 ms.
- **G.723.1** - Tento štandard je určený pre multimediálne aplikácie a obsahuje dva rečové kodéry. Jeden pracuje s prenosovou rýchlosťou 5,3 kb/s, druhý s prenosovou rýchlosťou 6,4 kb/s. Rozdiely spočívajú v rôznych kódových knihách s rôznymi budiacimi postupnosťami. Veľkosť rámca je 30 ms, oneskorenie v dôsledku prekrytia rámca je 7,5 ms a celkové oneskorenie kodéra je 67,5 ms. [20]

6 Meranie kvality Triple Play služieb

6.1 Popis meracieho pracoviska

Meracie pracovisko sa nachádza v laboratórií prístupových optických sietí na katedre 440 v budove N a v učebni 311. Pracovisko je vybavené zariadeniami pre testovanie technológií GePON a WDM-PON. Hlavný rack označený R-A N311 je spojený s jednotlivými lavicami v učebni pomocou dvoma optickými vláknami typu G.652D a dvoma optickými vláknami typu G.657.B3. Vlákná sú zakončené v paneloch, ktoré sú namontované v laviciach. Každý panel disponuje dvoma zásuvkami pre rovný konektor SC (PC) a dvoma zásuvkami pre šikmý konektor SC (APC). V panelu je vyvedený aj jeden pár zásuviek pre pripojenie UTP káblov s konektormi RJ45 (Ethernet kábel).

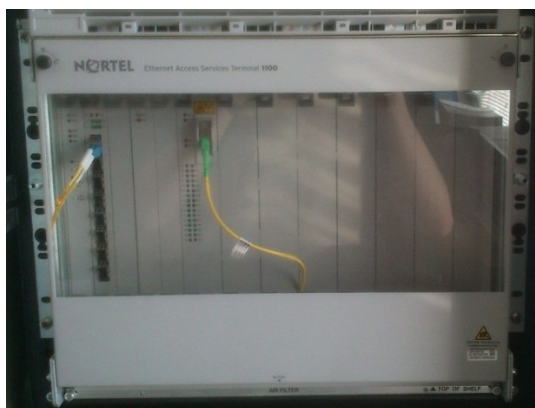
6.1.1 WDM-PON pracovisko

Pre testovanie WDM-PON technológie bola použitá OLT jednotka LG-Nortel EAST 1100 (Release 3), AWG filter LG-Nortel WPF 1132C a šesť kusov koncových ONT jednotiek LG-Nortel EARU 1112. OLT jednotka a AWG filter Fboli zabudované v racku, na rozdiel od ONT jednotiek, ktoré boli položené na jednotlivých laviciach v učebni.

LG-NORTEL EAST 1100 (RELEASE 3)

LG-Nortel EAST 1100 (Ethernet Access Service Terminal) je to hlavná stanica, ktorá je určená pre inštaláciu do hlavných rozvodných skríň. V topológii WDM-PON sa využíva ako OLT jednotka. Zariadenie disponuje veľkou modularitou, čiže ľahkou možnosťou rozšírenia kapacity pri minimálnych nákladoch. Z toho vyplýva, že sa jedná o ústredný modulárny systém, ktorý je vhodný pre Triple Play služby. Systém sa skladá z integrovaných prvkov a to:

- dva porty pre karty, ktoré privádzajú konektivitu (NI),
- port pre diagnostickú kartu dohľadu systému (SW),
- osem portov pre karty obsluhy koncových zariadení (PI).

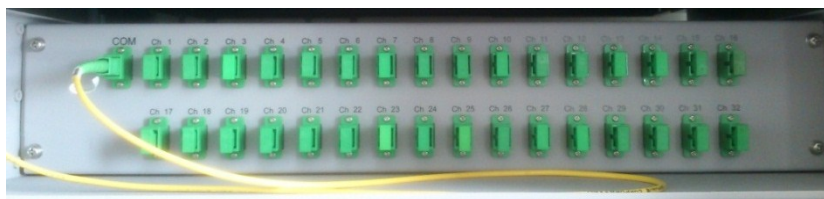


Obrázok 6.25: LG-NORTEL EAST 1100.

Dátová komunikácia ku každému koncovému zariadeniu dosahuje až 1 Gbit/s, teda záleží na PI karte. Počas meranie bola v modulárnom systéme použitá karta LG-Ericsson 4 PI. Karta obsahuje multiplexor/demultiplexor pre 32 kanálov s možnosťou rýchlosti komunikácie až 1 Gbit/s. Komunikácia pre zostupný smer prebieha v L pásme a pre vzostupný smer v C pásme. Využívané pásmo vlnových dĺžok je 1573 až 1600 nm. Používa grafické užívateľské prostredie WDM-PON Release 3, ktoré som podrobne popísal v druhom bode svojej diplomovej práce. Podobný návod pre nastavenie parametrov je v prílohe. Ďalšou dôležitou súčasťou tejto stanici je atermálny AWG filter, ktorý je teplotne nezávislý a má označenie LG-Ericsson WPF 1132c.

LG-NORTEL WPF 1132C

LG-Nortel WPF (Wavelength Passive Filter) 1132c je zariadenie slúžiace pre multiplexovanie a demultiplexovanie optického signálu na trase medzi stanicou OLT (LG-Nortel EAST 1100) a koncovým zariadením ONT (LG-Nortel EARU 1112). Jedná sa o pasívny AWG filter na ktorý je možné pripojiť až 32 koncových staníc. Pasívny filter dokáže rozdeliť jednotlivé vlnové dĺžky na daný výstup pre každý výstup a tým docieľi, že sú od seba linky oddelené. Podľa výrobcu je vložný útlm tohto zariadenia okolo 5 dB.



Obrázok 6.26: LG-NORTEL WPF 1132C.

Ku prevádzke WDM-PON siete je ešte treba koncová jednotka ONU. Nachádza sa na strane užívateľa. V laboratórií, čili v učebne je ich šesť ONU jednotiek. [23]

LG-NORTEL EARU 1112

LG-Nortel EARU (Ethernet Access Residential Unit) 1112 je koncová jednotka ONT, určená hlavne pre domácnosť. Obsahuje štyri porty pre Ethernet a jeden optický port s SC (APC) konektorom. Poskytuje podporu štandardných dátových služieb, ale aj funkciu QoS. Hlavnou výhodou je univerzálnosť kompatibility v celom spektre vlnových dĺžok. Prenosová rýchlosť každej tejto koncovkej jednotky je iba 100 Mbit/s v oboch smeroch.



Obrázok 6.27: LG-NORTEL EARU 1112.

6.1.2 GePON pracovisko

Pre testovanie GePON technológie bola použitá OLT jednotka Allied Telesis model iMAP 9102, splitter s pomerom 1:32 a päť kusov koncových ONT jednotiek Allied Telesis AT-ON1000. Podobne ako u technológie WDM-PON aj tu je OLT jednotka a splitter umiestnený v racku a ONT jednotky sú položené na jednotlivých laviciach v učebne.

ALLIED TELESIS iMAP 9102

Model 9102 je členom Allied Telesis iMAP rodiny. Patrí do najmenšej Ethernet a IP prístupovej platformy pre poskytovateľov služieb (hlasové, video a dátové služby).



Obrázok 6.28: Allied Telesis iMAP 9102.

Centrálna jednotka MiniMAP 9102 má celkom tri sloty pre inštaláciu rôznych modelov účastníckych rozhraní. Popis jednotlivých modulov na obrázku 6.27 je nasledovný:

- **modul A (CFC12):** riadiaca karta, ktorá zaisťuje lokálnu a vzdialenú správu centrálnej jednotky.
 - **D** – port CONSOLE, miestne prepojenie k PC cez RJ45 (strana OLT jednotky) a druhej strany buď cez USB alebo RS232,
 - **E** – port OAM, prepojenie k MGMT (management) portu pomocou Telnet štandardným sieťovým UTP káblom,
 - **F** – port GE2RJ, prepojenie cez FastEthernet (nižšia rýchlosť prenosu),
 - **G** – port GE4, pomocou SFP modulov poskytuje WAN rozhranie.
- **modul B (FX20BX):** modul 20x Ethernet P2P 100 Mbit/s. Maximálny dosah je 20 km, pre duplexnú komunikáciu používa jedno jednovidové optické vlákno zakončené konektorom LC (PC). Vysiela na vlnovej dĺžke 1550 nm a prijíma na 1310 nm. Minimálny útlmový rozsah je 18 dBm a maximálny výkon 45W,
- **modul C (TN-118-B):** GePON modul (EPON typ2), optické rozhranie podľa IEEE 802.3ah. Vysiela na vlnovej dĺžke 1490 nm (výkon 1 dBm) a prijíma na vlnovej dĺžke 1310 nm (citlivosť -30 dBm). Maximálna vzdialenosť 20 km a maximálny príkon 50 W.
- **neoznačený modul (ADSL24B):** ADSL modul vysielaajúci 24 portov Annex B, maximálny príkon 48W.

ALLIED TELESIS AT-ON1000

Koncová sieťová jednotka ONT slúži ako opticko-elektrický prevodník medzi sieťou GePON a štandardným metalickým rozhraním Ethernet 1000Base-T. Okrem tohto podporuje prepínanie klientskeho rozhrania 10/100/1000 pre jednoduché pripojenie k bežným užívateľským rozhraniam. Ku indikácii stavu jednotky slúži dvojica LED diód, ďalšia dvojica indikuje rýchlosť spojenia na užívateľskom rozhraní Ethernet.



Obrázok 6.29: Allied Telesis AT-ON1000.

6.2 Použité meracie prístroje a programy

Nasledujúce meracie prístroje boli požičané od spoločnosti PROFiber Networking CZ s.r.o. a to optický spektrálny analyzátor v univerzálnej platforme EXFO FTB-400 s modulom FTB-5240B, digitálny útlmový článok EXFO FVA-60B, testovacie zariadenie EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer a Ethernet analyzátor EXFO AXS-850, ktorý bol využitý ako Loopback jednotka. Na meranie kvality Triple Play služieb som využil prístroj EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer, kde som pracoval so štandardom EtherSAM (ITU-T Y.1564). Objektívne testovanie IPTV služby som uskutočnil pomocou programu MSU Video Quality Measurement Tool.

EXFO FTB-400

Jedná sa o univerzálny merací systém. Ide o staršiu verziu multimodulárnej testovacej platformy EXFO. Hlavnou výhodou je intuitívne ovládanie, ľahký management dát a prevod do pdf formátu. V prístroji sa nachádza platforma FTB-5240B. FTB-5240B je analyzátor optického spektra, ktorý umožňuje meranie vlnových dĺžok (základný nástroj DWDM).



Obrázok 6.30: EXFO FTB-400.

EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer

Testovacie zariadenie EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer je kompaktný výkonný tester určený pre komplexnú verifikáciu 10Mbit/s až 10 Gbit/s Ethernet siete a pokročilé testovanie Triple Play služieb. Platforma FTB-1 poskytuje kompaktné rozmery a nízku hmotnosť, tým je zaručený vysoký užívateľský komfort. Prístroj umožňuje spustenie viacerých súbežných aplikácií. Modul FTB-860 NetBlazer poskytuje testovanie výkonnosti Ethernetu prostredníctvom portov (10/100/1000 Base-Tx, 100/1000 Base-Fx) a voliteľné aj 10 Gbit/s SFP+ portu. Samozrejmosť je implementácia testovacích nástrojov podľa nového štandardu EtherSAM spolu s komplexnou analýzou Triple Play služieb. [23]



Obrázok 6.31: EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer.

EXFO AXS-850

Ethernet analyzátor EXFO AXS-850 je merací modul pre použitie v príručnej modulárnej platforme EXFO AXS-200, je vhodný hlavné k overovaniu kvality služieb (QoS) v prístupových a metropolitných sieťach založených na protokole Ethernet. Ľahké príručné prevedenie poskytuje technikom všetky nástroje, ktoré potrebujú k rýchlemu a efektívnemu prevedeniu testov. Disponuje funkciami nastavenie prahových hodnôt a indikácia ich prekročenia (Pass/Fail), spustenie testov stlačením jedného tlačidla, prehľadné farebné menu. Základné špecifikácie prístroja sú:

- jeden 10/100/1000 Base-T Ethernet port metalický,
- jeden Gigabit Ethernet port optický,
- testovanie výkonnosti a priepustnosti podľa RFC 2544,
- testy BERT,
- generovanie záťaže a vyhodnocovanie prevádzky,
- monitorovanie optického výkonu počas testov,
- disponuje funkciou Smart Loopback.



Obrázok 6.32: EXFO AXS-850.

EXFO FVA-60B

Nástroj EXFO FVA-60B je vhodný pre testovanie nasadzovaných prenosových systémov, pretože dokáže presne nastaviť hodnoty útlmu a tým testovať funkciu prenosového systému. Nastaviteľný rozsah sa pohybuje v rozsahu od 1,55 až do 65 dB s možnými rozlíšeniami 0,05, 0,2 a 1. Dokáže definovať útlm absolútne ale aj relatívne. Vložný útlm prístroja je 2,5 dB a útlm odrazu je 27 dB. [23]

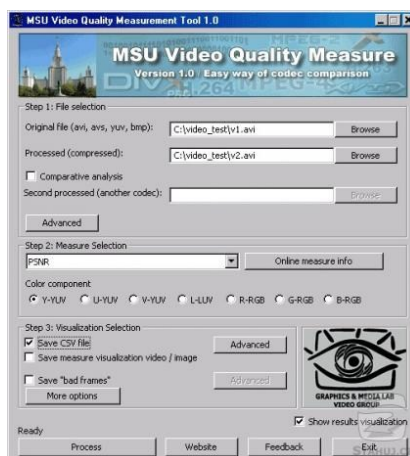


Obrázok 6.33: EXFO FVA-60B.

MSU Video Quality Measurement Tool

Je nástroj pre meranie a porovnávanie kvality videa v rôznych formátoch po doinštalovaní utility AVISynth. Tento program a hlavne jeho funkcie pre porovnávanie rôznych kodekov ocenia všetci milovníci kodekov a vysokej kvality obrazu. Hlavné znaky programu sú:

- podporované metriky PSNR (Y,U,V,L,R,G,B), MSE, SSIM MSAD, VQM a atď.,
- zisťuje kvalitu záznamu pri rôznych FPS,
- výsledky môže ukladať ako CSV databázu,
- všetky metriky sú vizualizované,
- umožňuje prevádzať komparáciu kodekov.



Obrázok 6.34: MSU Video Quality Measurement.

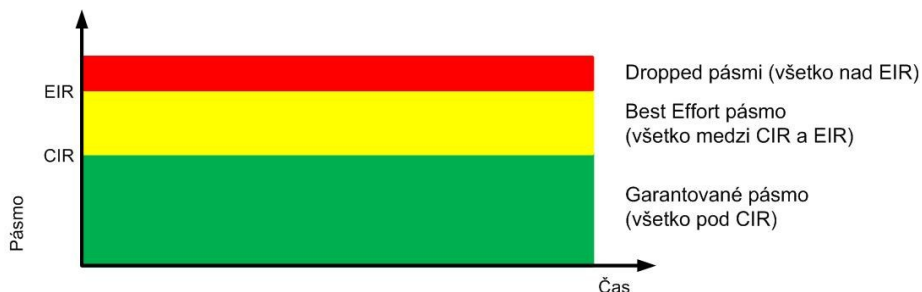
EtherSAM (ITU-T Y.1564)

Nástupca štandardu RFC2544, ktorý bol časovo náročný a nepodporoval nástroje pre verifikáciu real-time služieb ako Packet Litter, OoS či QoS. Štandard EtherSAM ITU-T Y.1564 (Ethernet Service Activation Test Methodology) už obsahuje všetky potrebné nástroje pre rýchlu a efektívnu verifikáciu výkonnosti. Je návrh odporúčenia ITU-T pre testovanie metodológie multiservisných paketovo založených sietí. Hlavnou divíziou EtherSAMu je testovanie parametrov kritických pre real-time služieb v rámci jedného testu (priepustnosť, strátovosť, oneskorenie, jitter, QoS). EtherSAM umožňuje dve fázy testovania:

- **Prvá fáza:** preverí správnosť konfigurácie aktívnych technológií pre každú nadefinovanú službu. Pre každú službu je vykonaný rampový test pre dosiahnutie CIR. Výkonnostné parametre musia byť v predpísaných rozmedziach. Časová náročnosť je cca 1 minúta na jednu službu.
- **Druhá fáza:** preverí kvalitu služby pre každú definovanú službu a či spĺňa SLA parametre. Všetky služby sú generované naraz do och CIR parametrov a súčasne sú aj merané všetky služby. Dĺžka tejto fázy je užívateľský volená.

Zákaznícka prevádzka je rozdelená do troch možných prevádzkových pásiem (obrázok 6.35), ktoré sú farebné označené. Garantované pásmo je označená zelenou farbou, nadpriemerne pásmo žltou farbou a pásmo kde je už rušenie (vyrazená prevádzka služieb).

- **CIR** (Committed Information Rate): Priemerná rýchlosť v bit/s do ktorej sieť prenáša rámce a vyhovuje výkonnostným kritériám definovaných v CoS servisných atribútoch.
- **EIR** (Excess Information Rate): Priemerná rýchlosť v bit/s do ktorej sieť môže prenášať rámce, avšak nemusí vyhovovať výkonnostnými kritériám.
- **Vyrazená prevádzka** (Discarded Traffic) prevádzka nad CIR/EIR, zrušená prevádzka pretože dochádza k rušeniu služieb. [10]



Obrázok 6.35: Pásmo EtherSAM.

6.3 Konfigurácia zariadení

V tejto kapitole popisujem jednotlivé nastavenia prístrojov, či samotnú konfiguráciu IPTV serveru potrebné k uskutočneniu praktickej časti diplomovej práce.

Konfigurácia VLC streamovania

VLC je výkonný prehrávač videa a hudby, pričom multimediálny obsah môže byť uložený v súbore, na DVD, prijímaný ako internetové vysielanie či získaný z kamery, televíznej karty a pod.. Výstup prehrávaného zdroja pritom nemusí putovať priamo na monitor, ale môže byť ďalej vysielaný po sieti, k čomu sa s obľúbenosťou používa. Hlavným znakom VLC je nepochybne možnosť streamovania – vysielanie multimediálneho obsahu po sieti.

1. Inštalácia VLC na server, kde bol nainštalovaný operačný systém Ubuntu, buď pomocou správcu balíkov Synaptic Package Manager alebo príkazom zadaním do terminálu:
 - **apt-get update** – aktualizácia balíkov,
 - **apt-get install vlc** – inštalácia vlc.
2. Nastavíme na serveru a na všetkých notebookov sieťové pripojenie – získať IP adresu zo serveru DHCP, v našom prípade DHCP server je OLT jednotka WDM-PON (rozsah 192.168.142.2 – 192.168.142.20).
3. **Unicast stream videa** – je komunikácia medzi odosielateľom a prijímateľom (streamovanie iba jednému účastníkovi). Server video vysiela a klient toto video prijíma. Prijímateľ má kontrolu nad prenášaním videom, ktoré môže zastaviť, spustiť alebo pozastaviť.
 - zistíme si pridelené IP adresy odosielateľa a prijímateľa video vzorky.
 - server: **cvlc video.mpeg --sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=192.168.142.10}'**,
 - IP adresa 192.168.142.10 je adresa počítača, ktorý prehráva video – prijímateľ,
 - klient: VLC program, otvoríme **Média/Otvoriť sieťový prúd/Sieť** a zadáme:
 - **udp://192.168.142.9** (IP adresa odosielateľa - serveru).
4. **Multicast stream videa** – odosielanie video toku do skupiny cieľovým počítačom. Server vysiela viac videí a prijíma ich len istá skupina príjemcov.
 - server: povolenie protokolu IGMP a portu 1234 – firewall,
 - **FW_SERVICES_EXT_IP="igmp"**,
 - **FW_SERVICES_EXT_UDP="1234"**.
 - server: nastavenie smerovacej tabuľky,
 - **ip adres** – výpis nastavenia na rozhraní,
 - **sudo ip route add to 224.0.0.0/4 dev eth0** – pridanie multicastového rozsahu do routovacej tabuľky na rozhranie eth0.
 - server: prehrávanie jedného videa a potom viacerých videí,

- `cvlc video.mpeg --sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=233.4.4.0}'`,
- `cvlc -vlm-conf="pr.conf"` – vytvorenie skriptu pre VLC,

Streamovanie 2 videí – vysielajú na jednej

multicastovej adrese s inými portami

new video1 broadcast enabled

setup video1 input video1.avi

setup video1 output

#std{access=udp,mux=ts,dst=233.4.4.5:1224}

new video2 broadcast enabled

setup video2 input video2.mpg

setup video2 output

#std{access=udp,mux=ts,dst=233.4.4.5:1225}

control v1 play

control v2 play

Streamovanie 2 videí – vysielajú na dvoch

multicastových adresách s rovnakými portami

new video1 broadcast enabled

setup video1 input video1.avi

setup video1 output

#std{access=udp,mux=ts,dst=233.4.4.5}

new video2 broadcast enabled

setup video2 input video2.mpg

setup video2 output

#std{access=udp,mux=ts,dst=233.4.4.6}

control v1 play

control v2 play

- klient: VLC program, otvoríme **Média/Otvoriť sieťový prúd/Sieť** a zadáme:
- **udp://@233.4.4.5** – jedno video,
- **udp://@233.4.4.5:1224** alebo **1225** – jedna multicastová adresa, iný port,
- **udp://@233.4.4.5** alebo **4.6** – dve multicastové adresy, rovnaký port.

Konfigurácia OLT jednotky GePON

1. Pripojíme konfiguračný notebook sériovým káblom s portom na OLT jednotke MiniMAP 9102, ktorý nesie označenie CONSOLE (použil sa USB emulátor).
2. Na konfiguračnom notebooku spustíme program PuTTY (nastavíme parametre - rýchlosť 9600 bit/s, dátové bity 8, parita žiadna). Zadáme prihlasovacie údaje:
 - Name: **officer**,
 - Password: **officer**.
3. Pomocou príkazu **show interface** skontrolujeme prítomnosť rozhrania (modulu) EPON a číselné označenie jeho portu.
4. Nastavíme IP adresu pre rozhranie modulu EPON príkazom:
 - **set interface <číslo rozhrania> epon ipaddress=192.168.0.2**,
 - napr. **set interface 2.0 epon ipaddress=192.168.0.2**.
5. Vytvoríme v systéme OLT MiniMAP pripojenie ku koncovým jednotkám ONU príkazom:
 - **create onu <meno jednotky ONU> onuid=<číslo jednotky ONU - v rozsahu 0 až 31> interface=<označenie rozhrania EPON> mac=<MAC adresa jednotky> type=<označenie typu jednotky>**,

- napr. create onu onu0 onuid=0 interface=2.0 mac=00:15:77:43:98:5E.
6. Nastavíme VLANy, najprv zistíme aký VLAN sa používa a potom prejdeme ku nastaveniu, poprípade ku vymazaniu VLANy (použijeme príkazy):
 - **show vlan,**
 - **add vlan <Name> interface=<označení rozhraní EPON / onuid>,**
 - napr. add vlan vlan250 interface=2.0/onu3,
 - **del vlan <Name> interface=<označení rozhraní EPON / onuid>.**
 7. Správne vytvorené jednotky overíme príkazom:
 - **show interface <jméno jednotky>.**
 8. Položka **State** musí byť **UP-UP**.

Konfigurácia AXS-200/850

1. Prejdeme do Setup/Interface/Port:
 - Auto-Negotiation – Enabled,
 - Speed – 100 Mbps,
 - Duplex – Full,
 - Flow Control – None.
2. Prejdeme do Setup/Interface/Network
 - DHCP – Enabled,
 - Default Gateway – Enabled.

Dostané IP adresu od DHCP serveru WDM-PON. Vyjdeme von, teda do hlavného menu. EXFO 850 je pripojený na OLT jednotku WDM-PON pomocou optického káblu LC/PC

Konfigurácia EXFO FTB-860G

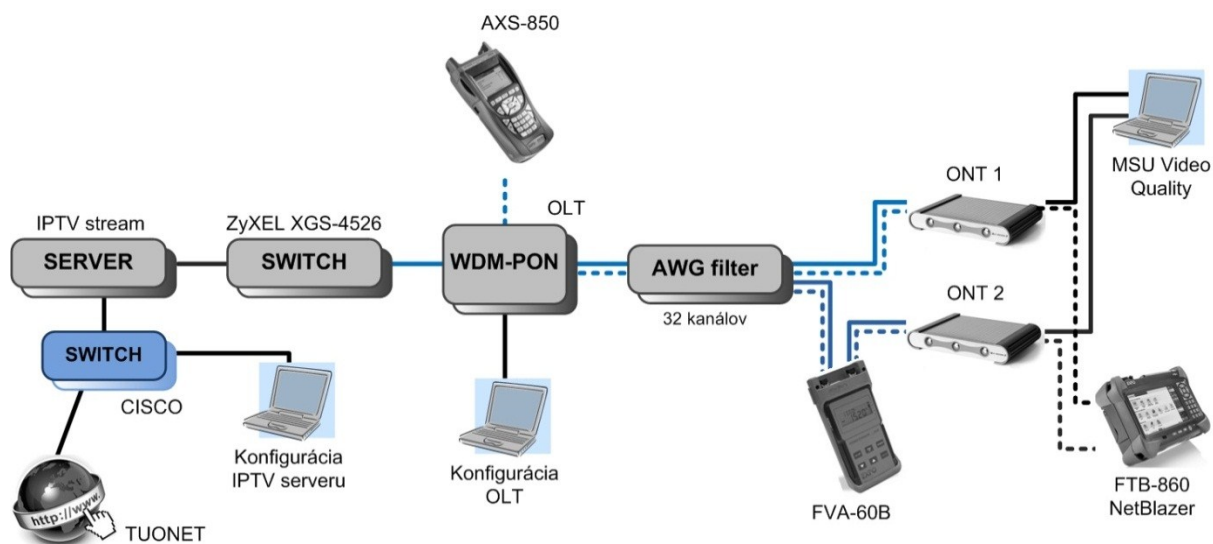
Spojíme sa zo zariadením AXS-200/850 a to nasledovne. Po pridelení IP adresy z DHCP serveru jednotky OLT WDM-PON prejdeme na:

- Discover/Remote – Scan Subnet (stlačíme), zobrazí sa IP adresa. Nakoniec Loop UP, po stlačení Yes (nastavené pre všetky testovacie normy).
- EtherSAM(Y.1564)/Interface/Port:
- Port (Port1), Interface Type (10/100/1000 Mbit/s Electrical), Auto-Negotiation (Manual), Speed (100 Mbit/s), Duplex (Full), Flow Control (None),
- EtherSAM(Y.1564)/Interface/Network:
- DHCP (Enabled) - IP adresa sa získa od WDM-PON.

6.4 Použité topológie

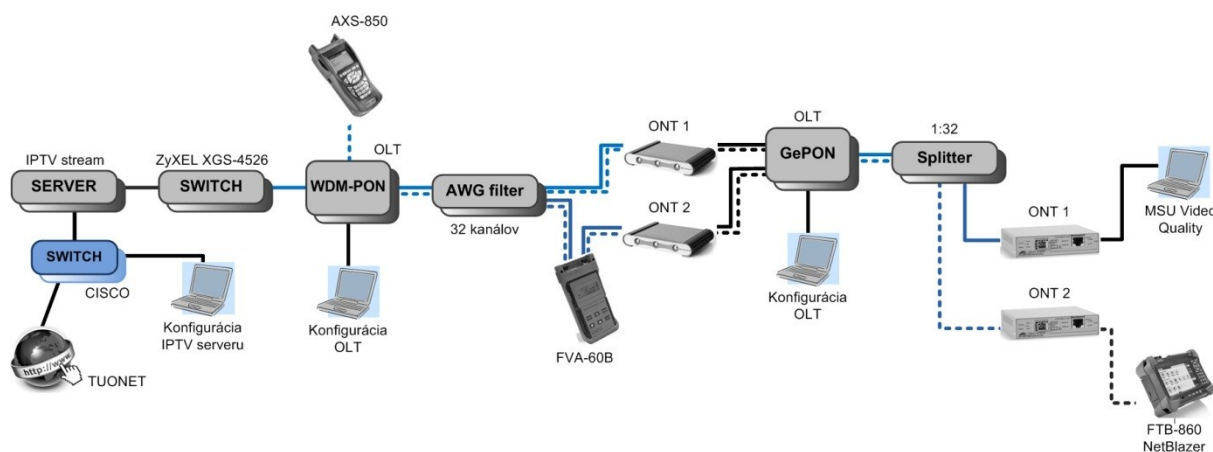
Pre vypracovanie praktickej časti diplomovej práci boli použité dve hlavné topológie, kde v každej prebehlo objektívne meranie kvality IPTV služby a meranie kvality pomocou štandardu EtherSAM (ITU-T Y.1564):

1. Simulovaná prevádzka WDM-PON,



Obrázok 6.36: Topológia simulovanej prevádzky WDM pasívnej optickej siete.

2. Nasadenie WDM-PON na stavajúcu GePON sieť.

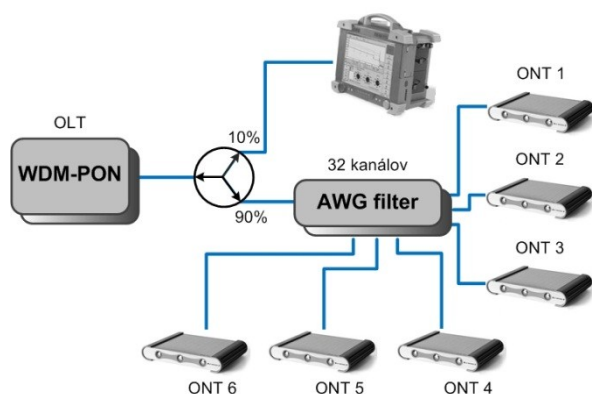


Obrázok 6.37: Topológia nasadenia WDM-PON na stavajúcu GePON sieť.

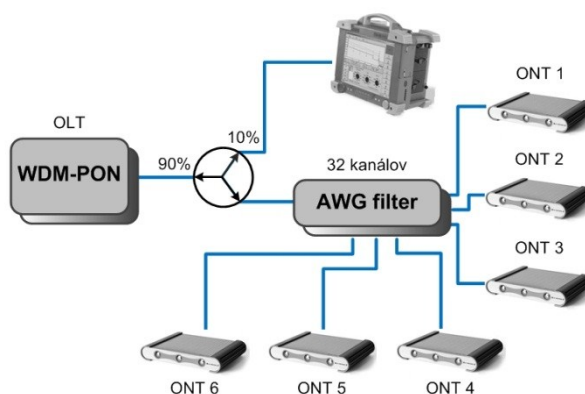
6.5 Spektrálna analýza navrhnutých topológií

V tejto časti merania som sa zaoberal spektrálnou analýzou navrhnutých topológií. Meranie sa uskutočnilo pomocou spektrálneho analyzátoru EXFO FTB-400/5240B. Ďalej bolo treba použiť pasívny optický delič s pomerom 90:10. To znamená, že 90% signálu pokračovalo ďalej do siete a 10% bolo privedených do optického spektrálneho analyzátoru. Týmto sa zaručilo úspešné meranie spektrálnym analyzátorom a bezchybná prevádzka danej siete. Meranie spektrálnym analyzátorom sa rozdelilo do troch hlavných úloh:

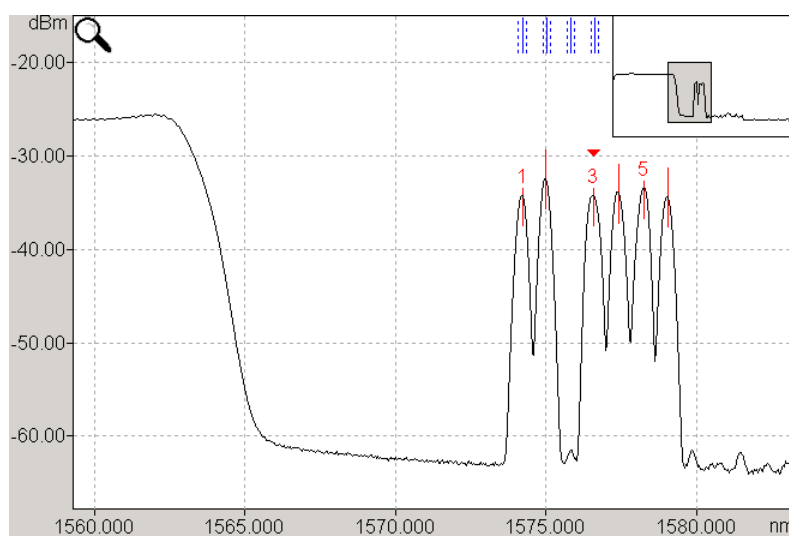
1. Spektrálna analýza WDM-PON siete, zobrazenie optického spektra v oboch smeroch (C a L pásmo). Pre meranie sa vložil medzi AWG filterom a OLT jednotkou WDM-PON pasívny delič v pomere 90:10. Pre smer downstream sa 90% pripojilo na AWG filter a 10% sa pripojilo na optický spektrálny analyzátor. Pre smer upstream sa 90% pripojilo na OLT jednotku WDM-PON a 10% opäť na analyzátor. Použité schémy zapojenia sú zobrazené pre downstream na obrázku 6.38 a pre upstream na obrázku 6.39.



Obrázok 6.38: Topológia vo smere downstream.



Obrázok 6.39: Topológia vo smere upstream.



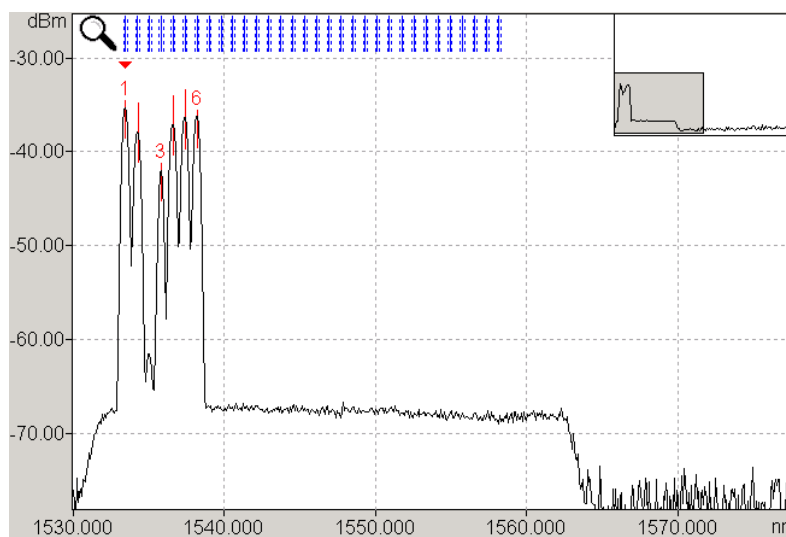
Obrázok 6.40: Optické spektrum vo smere downstream.

Tabuľka 6.6: Parametre pre jednotlivé kanály vo smere downstream.

Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	CHL_1	1574,224	-25,55	23,81	-53,59	-30,33
2	CHL_2	1575,006	-23,93	25,61	-53,76	-28,62
3	CHL_4	1576,593	-24,43	24,83	-53,46	-30,40
4	CHL_5	1577,417	-24,87	22,66	-51,71	-30,05
5	CHL_6	1578,264	-24,29	23,66	-52,12	-29,65
6	CHL_7	1579,045	-25,52	24,56	-54,24	-30,52

Na obrázku 6.40 je možné vidieť optické spektrum vo smere downstream (L pásmo). Prebieha komunikácia šiestich koncových jednotiek ONT a parametre jednotlivých kanálov sú zobrazené v tabuľke 6.6. Výsledky sú ovplyvnené pasívnym optickým deličom v pomere 90:10. Kanál číslo 3 sa pre dané meranie nevyužil pretože v dobe merania vykazoval veľký útlm.

Na obrázku 6.41 je možné vidieť optické spektrum vo smere upstream (C pásmo). Prebieha komunikácia šiestich koncových jednotiek ONT a parametre jednotlivých kanálov sú zobrazené v tabuľke 6.7. Výsledky sú ovplyvnené pasívnym optickým deličom v pomere 90:10. Kanál číslo 3 sa pre dané meranie nevyužil pretože v dobe merania vykazoval veľký útlm



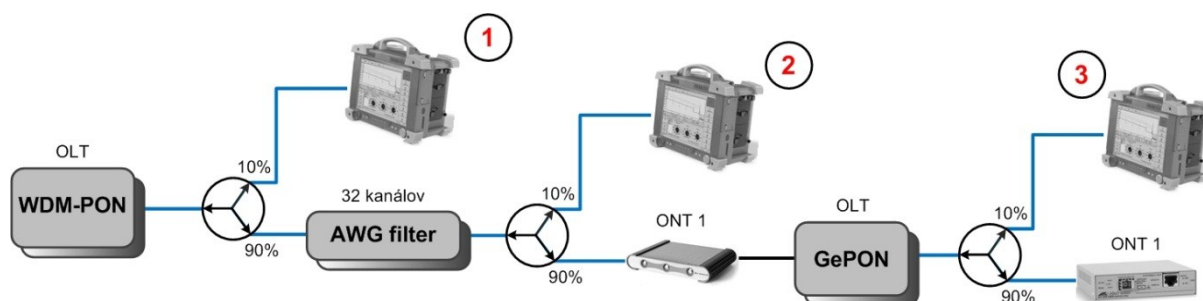
Obrázok 6.41: Optické spektrum vo smere upstream.

Tabuľka.6.7: Parametre pre jednotlivé kanály vo smere upstream.

Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	CHL_1	1533,453	-25,84	25,10	-55,63	-30,89
2	CHL_2	1534,264	-28,11	25,33	-58,11	-33,34
3	CHL_4	1536,825	-33,64	25,16	-63,45	-37,67
4	CHL_5	1536,602	-27,18	27,40	-59,22	-32,65
5	CHL_6	1537,390	-26,75	23,20	-54,59	-31,93
6	CHL_7	1538,186	-26,69	24,12	-55,45	-31,85

2. Spektrálna analýza nasadenia WDM-PON siete na sieť GePON, kde WDM-PON sieť je nadradená sieti GePON. Meranie pozostávalo z troch bodov ako je možné vidieť na obrázku 6.42. Pre každý bod merania je zobrazené optické spektrum a parametre jednotlivého kanálu zobrazené v tabuľkách.

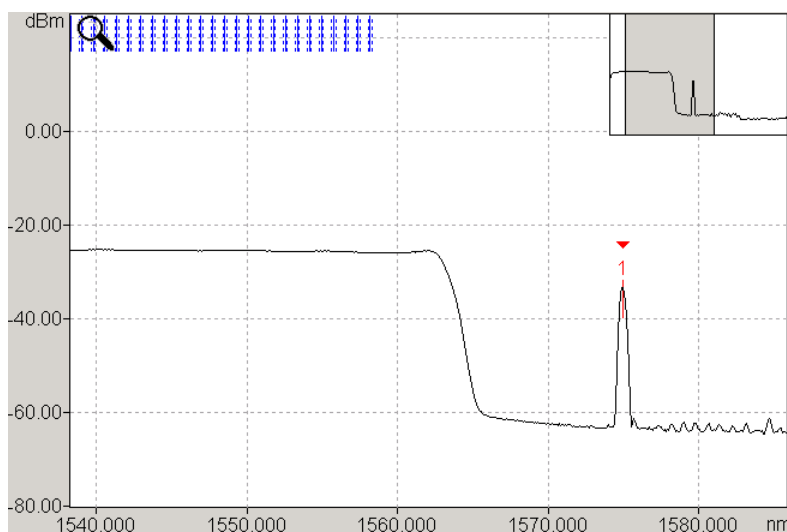
V prvom bode merania sa pasívny optický delič s pomerom 90:10 vložil medzi AWG filtrom a OLT jednotkou WDM-PON. Do spektrometru išlo 10% optického výkonu a do AWG filtru išlo 90% výkonu. Použitá schéma zapojenia je zobrazená na obrázku 6.42. Na obrázku 6.43 je možné vidieť optické spektrum kanálu 2 vo smere downstream (L pásma). Parametre kanálov sú zobrazené v tabuľke 6.8. Výsledky sú ovplyvnené pasívnym optickým deličom v pomere 90:10.



Obrázok 6.42: Topológia nasadenia WDM-PON na sieť GePON.

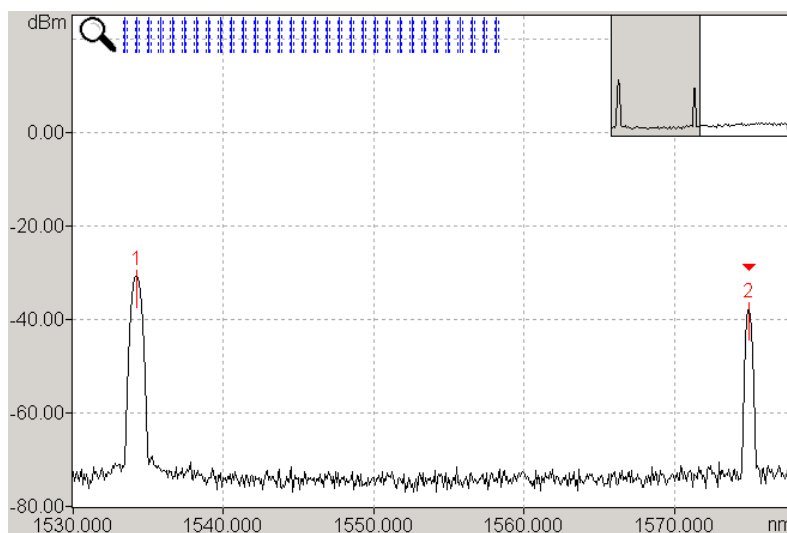
Tabuľka.6.8: Parametre pre druhý kanál.

Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	CHL_2	1574,979	-24,22	29,03	-57,47	-29,70



Obrázok 6.43: Optické spektrum druhého kanálu (downstream).

V druhom bode merania sa pasívny optický delič s pomerom 90:10 vložil medzi AWG filtrom a koncovú jednotku ONT1 WDM-PON siete. Do spektrometru išlo 10% optického výkonu a do jednotky ONT1 išlo 90% výkonu. Použitá schéma zapojenia je zobrazená na obrázku 6.42. Na obrázku 6.44 je možné vidieť optické spektrum kanálu 2 v oboch smeroch (C a L pásmo). Parametre kanálov sú zobrazené v tabuľke 6.9. Výsledky sú ovplyvnené pasívnym optickým deličom v pomere 90:10.

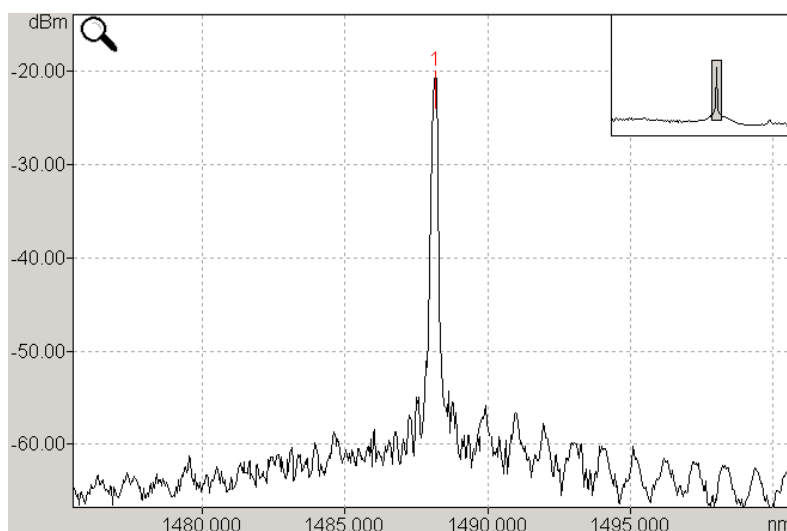


Obrázok 6.44: Optické spektrum druhého kanálu v oboch smeroch.

Tabuľka.6.9: Parametre pre druhý kanál.

Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	CHL_2	1534,231	-20,34	16,23	-41,24	-26,05
2	CHL_2	1574,968	-29,59	39,17	-72,98	-34,59

V treťom bode merania sa pasívny optický delič s pomerom 90:10 vložil medzi OLT jednotku GePON a koncovú jednotku ONT1 GePON siete. Do spektrometru išlo 10% optického výkonu a do jednotky ONT1 išlo 90% výkonu. Použitá schéma zapojenia je zobrazená na obrázku 6.42. Na obrázku 6.45 je možné vidieť optické spektrum ONT jednotky pre komunikáciu od poskytovateľa ku užívateľovi. Namerané parametre sú zobrazené v tabuľke 6.10. Výsledky sú ovplyvnené pasívnym optickým deličom v pomere 90:10.

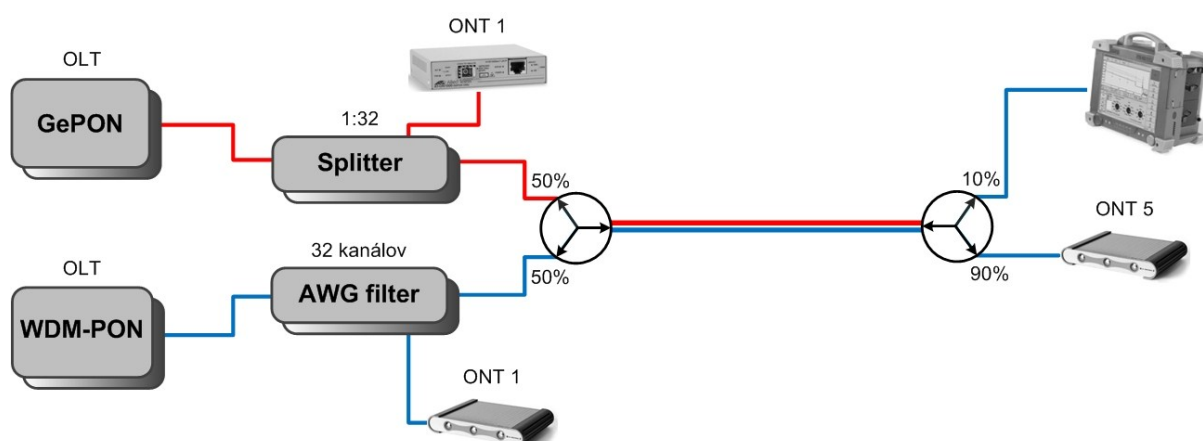


Obrázok 6.45: Optické spektrum koncovej jednotky.

Tabuľka.6.10: Namerané parametre optického spektra.

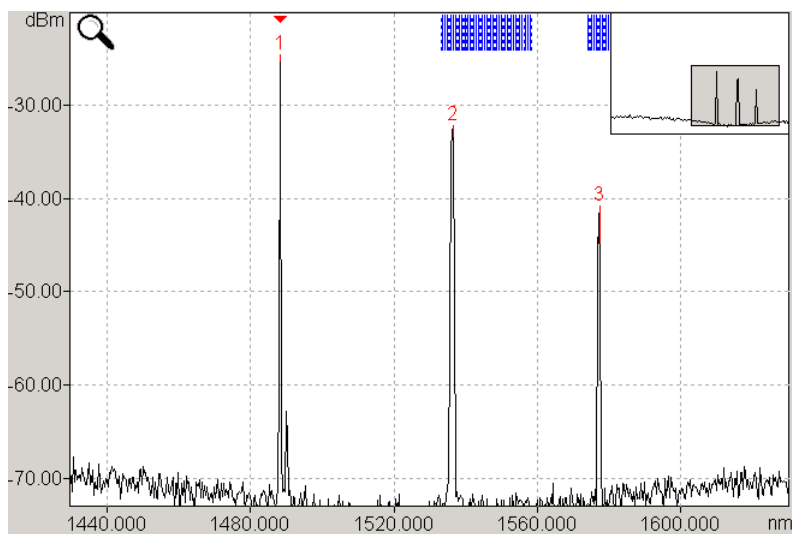
Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	-	1488,191	-14,61	36,50	-55,79	-

- Spektrálna analýza nasadenia WDM-PON siete na sieť GePON, kde WDM-PON sieť je rovnocenná sietí GePON. Navrhnuté blokové schéma je zobrazené na obrázku 6.46. Pasívny optický delič s pomerom 50:50 je vložený do siete aby spojil dve siete (WDM-PON a GePON) do jedného optického vlákna. Na konci tohto vlákna je použitý optický delič v pomere 90:10, kde 90% sa pripojilo na koncovú jednotku WDM-PON siete a 10% sa pripojilo na optický spektrálny analyzátor.



Obrázok 6.46: Topológia nasadenia WDM-PON a siete GePON spolu.

Na obrázku 6.47 je možné vidieť optické spektrum navrhnutej siete. Priebeha komunikácia piatej koncovej jednotky ONT 5 v obidvoch smeroch (C a L pásnu). Ďalej je možné vidieť komunikáciu GePON siete. Parametre komunikácie sú zobrazené v tabuľke 6.11. Výsledky sú ovplyvnené pasívnymi optickými deličmi s pomermi 90:10 a 50:50. Všetky jednotky boli aktívne a komunikovali, preto je rovnocenné nasadenie týchto dvoch sietí možné.



Obrázok 6.47: Optické spektrum navrhnutej siete.

Tabuľka.6.11: Namerané parametre optického spektra.

Špička	Kanál	W (nm)	P auto (dBm)	SNR (dB)	Výkon šumu (dBm)	Výkon signálu (dBm)
1	-	1488,321	-24,42	46,21	-75,31	-
2	CHL_5	1536,570	-22,39	16,49	-43,53	-28,58
3	CHL_5	1577,413	-33,22	35,58	-72,99	-37,97

6.6 Objektívne meranie kvality IPTV služby

V tejto časti merania som sa zaoberal objektívnymi metódami PSNR, MSE a SSIM. Výpočet objektívnych metód bol vypočítaný pomocou programu MSU Video Quality Measurement Tool. Program bol nainštalovaný na notebook, spolu s programom VLC media player (použitý pre nahrávanie video streamu). Následne tento notebook bol pripojený ku koncovým jednotkám podľa použitého merania a danej siete. Program MSU Video Quality Measurement Tool potreboval pre výpočet objektívnych metód pôvodnú video vzorku a video vzorku, ktorá prešla danou sieťou, či topológiou. Video vzorky boli streamované pomocou serveru, kde bola spustená IPTV služba (podrobne nastavenie IPTV streamu je možné vidieť v kapitole 6.3). Použité streamované video vzorky sú zobrazené v tabuľke 6.12. Služba IPTV bola ovládaná cez vzdialený prístup cez sieť Tuonet. Objektívne meranie sa uskutočnilo na sieťach WDM-PON a následne bola nasadená na stavajúcu sieť GePON.

Tabuľka.6.12: Použité vzorky na streamovanie videa.

Video vzorky	Veľkosť (MB)	Formát	BitRate (Mbps)	Rozlíšenie	Video kodek	Dĺžka
SDTV (MPEG-2)	6,87	MPEG-PS	2,865	720x576	MPEG-2	20s 112ms
HDTV (MPEG-4)	29,9	AVI	11,5	1280x720	MPEG-4	20s 20ms
HDTV (MPEG-2)	36,6	MPEG-TS	17,9	1280x720	MPEG-2	20s 529ms

6.6.1 WDM-PON

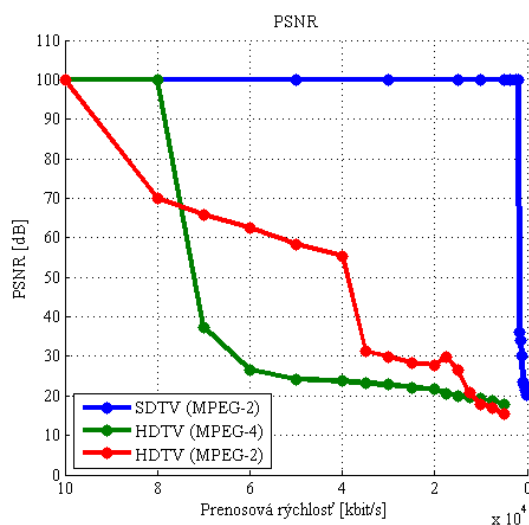
Použitá topológia pre objektívne meranie kvality IPTV služby pre sieť WDM-PON je zobrazená na obrázku 6.36. Zapojenie, ktoré odpovedá tomuto meraniu je vykreslené plnou čiarou (čierna farba značí metalické vedenie a farebná optické vedenie). Ako je možné vidieť v topológií sú použité dve koncové jednotky ONT (ONT1 a ONT2). Podľa typu merania sa pripojí k danej koncovej jednotke notebook s už nainštalovanými programami pre uskutočnenie objektívneho merania kvality IPTV služby.

Prvá koncová jednotka ONT1 bola použitá pre meranie, kde sa vplyvom priepustnosti siete mení kvalita IPTV služby. Šírka pásma, čiže priepustnosť siete bola menená v OLT jednotke WDM-PON pomocou grafického užívateľského rozhrania WDM-PON Release 3. K tomuto rozhraniu bol pripojený konfiguračný notebook cez EMS port na strane OLT jednotky a na strane notebooku cez sieťovú kartu UTP káblom (kríženým).

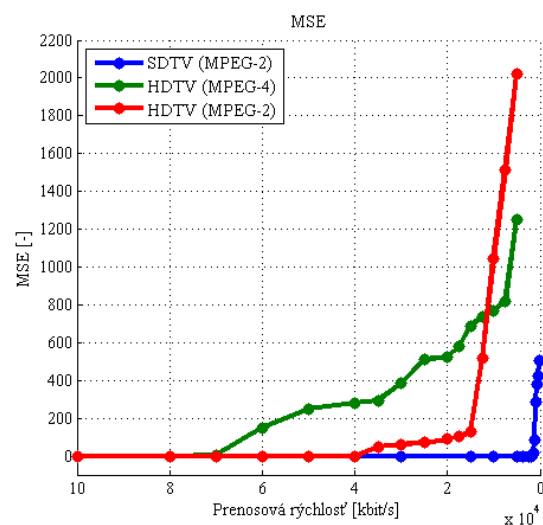
Druhá koncová jednotka ONT2 bola použitá pre meranie, kde so zvyšujúcim útlmom v sieti sa mení kvalita IPTV služby. Útlm v sieti spôsoboval prístroj FVA-60B (simulátor vedenia). Simulator vedenia bol pripojený na 25 kanál AWG filtru, pretože tento kanál vysielal najbližšie ku vlnovej dĺžke 1550 nm. Prístroj FVA-60B pracuje na dvoch vlnových dĺžkach 1310 a 1550 nm. Kanál s číslom 25 bol určený postupným meraním útlmu priamou metódou všetkých kanálov AWG filtru.

Výsledky objektívneho merania pre sieť WDM-PON je možné vidieť nižšie. Najprv pre prípad vplyvu priepustnosti a následné vplyvu útlmu:

1. Vplyv priepustnosti siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM.

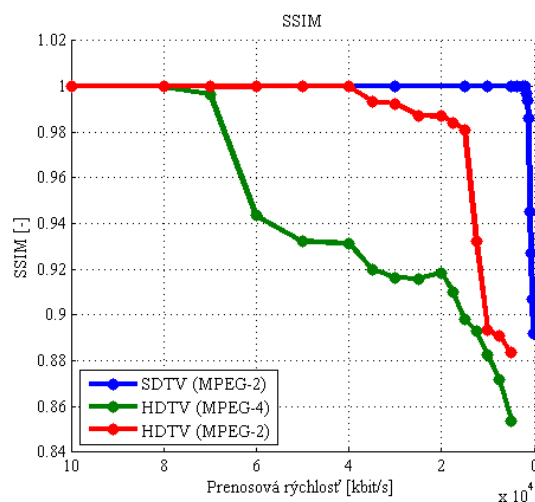


Obrázok 6.48: PSNR



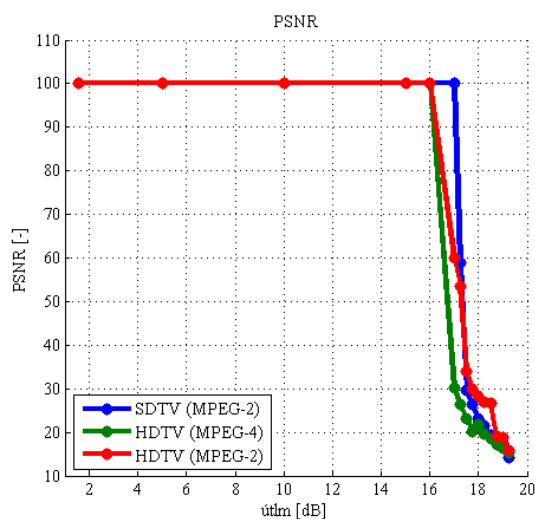
Obrázok 6.49: MSE

Na obrázku 6.48 je zobrazený graf objektívnej metódy PSNR. Najmenší vplyv na priepustnosť siete má vzorka SDTV (MPEG-2), zmena nastala u priepustnosti siete 1750 kbit/s (výrazné zhoršenie kvality video vzorky). Naopak najväčší vplyv má vzorka HDTV (MPEG-2), už pri priepustnosti 80000 kbit/s nastáva postupne zhoršenie kvality video vzorky. Táto objektívna metóda je najviac používaná a je to meradlo stratovej kompresie kodekov. Na obrázku 6.49 je zobrazená objektívna metóda MSE. Vyjadruje strednú kvadratickú odchýlku pôvodného signálu od signálu, ktorý prešiel danou sieťou. Prvé zhoršenie kvality nastáva u vzorku HDTV (MPEG-4) pri priepustnosti 70000 kbit/s, ale nakoniec najhoršiu hodnotu objektívnej metódy MSE má práve vzorek HDTV (MPEG-2). Táto hodnota je dvojnásobná voči vzorku HDTV (MPEG-4). Na obrázku 6.50 je zobrazený graf objektívnej metódy SSIM. Metóda vychádza z predchádzajúcich dvoch metód, ktoré boli v rozpore s vnímaním ľudského oka. Preto sú aj výsledky iné. Najhoršie na tom dopadol vzorek HDTV (MPEG-4), dosahoval najhorších hodnôt a zmena pri klesajúcej priepustnosti nastala ako prvá. Očakávalo sa že vzorek HDTV (MPEG-2) bude ten najhorší, keďže má väčšie nároky na sieť.

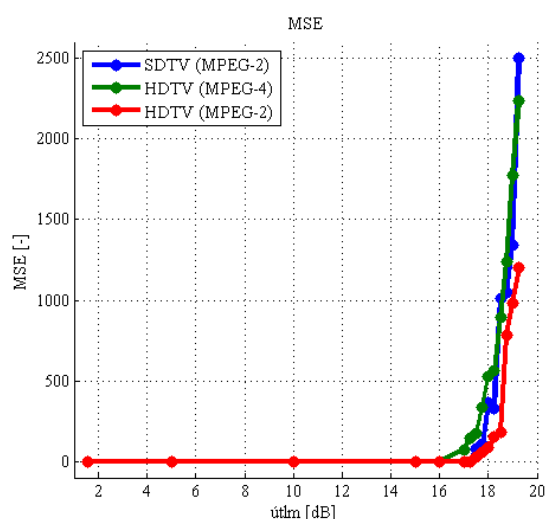


Obrázok 6.50: SSIM

2. Vplyv útlmu siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM.

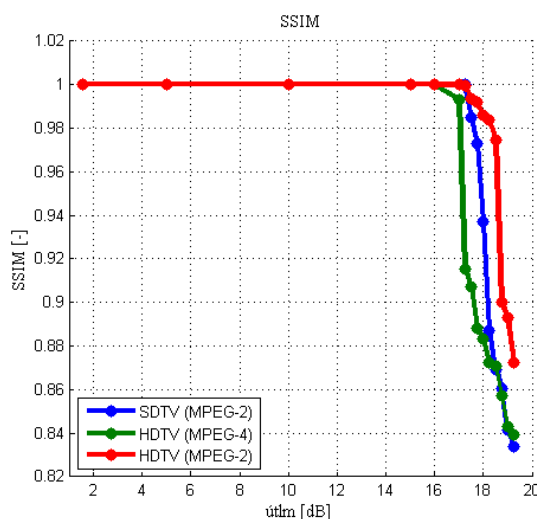


Obrázok 6.51: PSNR



Obrázok 6.52: MSE

Na obrázkoch 6.51, 6.52, 6.53 sú zobrazené grafy, ktoré vyjadrujú vplyv útlmu siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM. Podľa zobrazených grafov sa došlo k záveru, že zväčšujúci útlm má približne rovnaký vplyv na všetky tri video vzorky. Pri útlmu 17 dB dochádzalo k zhoršenej kvalite video vzorkou. Maximálny možný útlm pre určenie objektívnych metód bol 19,25 dB. Pri hodnote 20,5 dB koncová jednotka vypadla.



Obrázok 6.53: SSIM

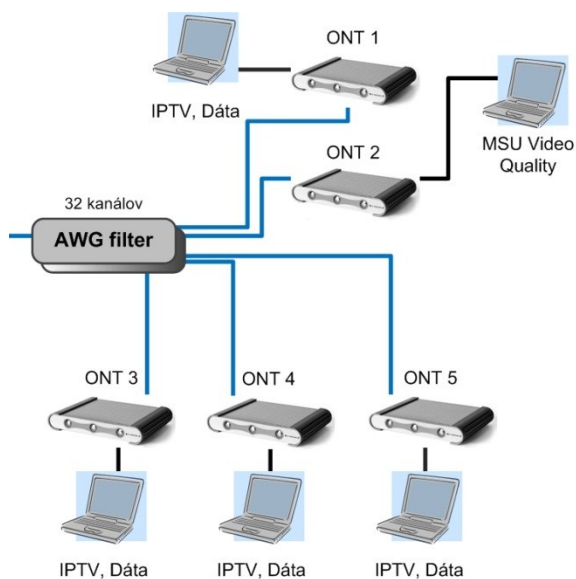
3. Vplyv zát'áže siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM.

Tento bod merania som uskutočnil iba pre sieť WDM-PON, chcel som týmto meraním demonštrovať vplyv zát'áže na kvalitu IPTV služby. Meranie pozostávalo z dvoch zapojení.

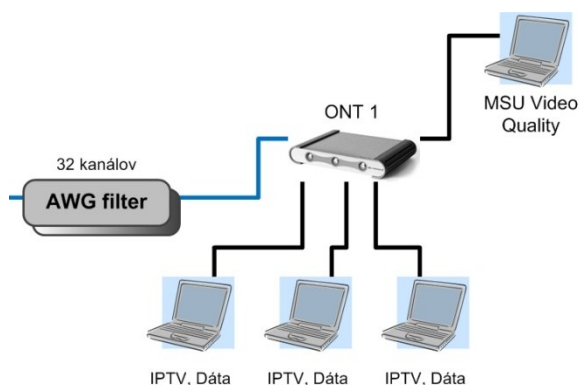
Prvé zapojenie vychádzalo z topológie zobrazenej na obrázku 6.36. Bolo rozšírené o 4 koncové jednotky ONT, pripojené ku AWG filtru. Ku každej tejto jednotke sa pripojil notebook, v ktorom prebiehalo sťahovanie dát s dátového serveru a sledovanie IPTV služby. Koncová jednotka ONT 2 slúžila ako meracie pracovisko. Rozšírené zapojenie je možné vidieť na obrázku 6.54 a hodnoty v tabuľke 6.13.

Druhé zapojenie je podobné, len pracujeme s jednou koncovou jednotkou ONT. Táto jednotka má 4 ethernet vývody. Na tri vývody sú pripojené notebook v ktorých prebiehalo sťahovanie dát a sledovanie IPTV služby. Posledný vývod slúžil na pripojenie notebooku (meracie pracovisko). Rozšírené zapojenie je možné vidieť na obrázku 6.55 a hodnoty v tabuľke 6.13.

Zát'až siete pomocou jednotiek nemalo žiadny vplyv na objektívne metódy. Zát'až jednej ONT jednotky sa prejavilo až pri zapojení troch notebookov a pri vzorke s najväčšou kvalitou.



Obrázok 6.54: Zát'áž 4 jednotkami.



Obrázok 6.55: Zát'áž 1 jednotky.

Tabuľka.6.13: Namerané hodnoty pre zát'áž siete.

	Vzorek	PSNR	SSIM	MSE
4 ONU	SDTV (MPEG-2)	100,00	1,000	0,00
	HDTV (MPEG-4)	100,00	1,000	0,00
	HDTV (MPEG-2)	69,43	0,999	0,01
Zát'áž 1 ONU jednotky				
1 PC	SDTV (MPEG-2)	100,00	1,000	0,00
		100,00	1,000	0,00
		100,00	1,000	0,00
2 PC	HDTV (MPEG-4)	100,00	1,000	0,00
		100,00	1,000	0,00
		100,00	1,000	0,00
3 PC	HDTV (MPEG-2)	65,23	0,999	0,00
		60,07	0,999	0,00
		29,90	0,992	60,95

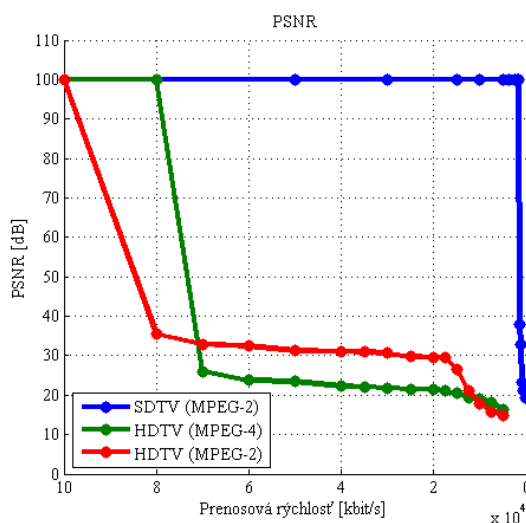
6.6.2 Nasadenie WDM-PON na stavajúcu sieť GePON

Použitá topológia pre objektívne meranie kvality IPTV služby pri nasadení WDM-PON siete na stavajúcu sieť GePON je zobrazená na obrázku 6.37. Zapojenie, ktoré odpovedá tomuto meraniu je vykreslené plnou čiarou (čierna farba značí metalické vedenie a farebná optické vedenie). Ako je možné vidieť topológia sa skladá s topológie WDM-PON, len koncové jednotky ONT1 a ONT2 (WDM-PON) sú pripojené na stávajúcu sieť GePON. Sieť GePON cez pripojený splitter má pripojené svoje koncové jednotky ONT1 a ONT2. Práve koncová jednotka ONT1 je použitá pre objektívne meranie kvality IPTV služby (ku jednotke sa pripojí notebook s už nainštalovanými programami).

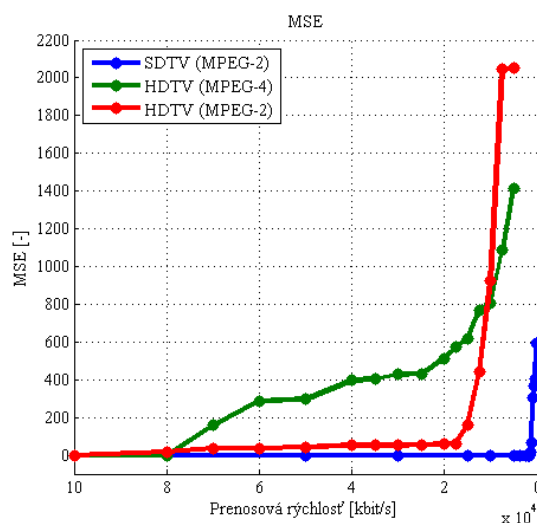
Podľa typu merania bude aktivovaná príslušná koncová jednotka na strane WDM-PON. Prvá koncová jednotka ONT1 bola použitá pre meranie, kde sa vplyvom priepustnosti siete mení kvalita IPTV služby. Šírka pásma, čiže priepustnosť siete bola menená v OLT jednotke WDM-PON pomocou grafického užívateľského rozhrania WDM-PON Release 3. K tomuto rozhraniu bol pripojený konfiguračný notebook cez EMS port na strane OLT jednotky a na strane notebooku cez sieťovú kartu UTP káblom (kríženým).

Druhá koncová jednotka ONT2 bola použitá pre meranie, kde so zvyšujúcim útlmom v sieti sa mení kvalita IPTV služby. Útlm v sieti spôsoboval prístroj FVA-60B (simulátor vedenia). Simulator vedenia bol pripojený na 25 kanál AWG filtru, pretože tento kanál vysielal najbližšie ku vlnovej dĺžke 1550 nm. Prístroj FVA-60B pracuje na dvoch vlnových dĺžkach 1310 a 1550 nm. Kanál s číslom 25 bol určený postupným meraním útlmu priamou metódou všetkých kanálov AWG filtru. Výsledky objektívneho merania pre sieť WDM-PON je možné vidieť nižšie. Najprv pre prípad vplyvu priepustnosti a následné vplyvu útlmu:

1. Vplyv priepustnosti siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM.



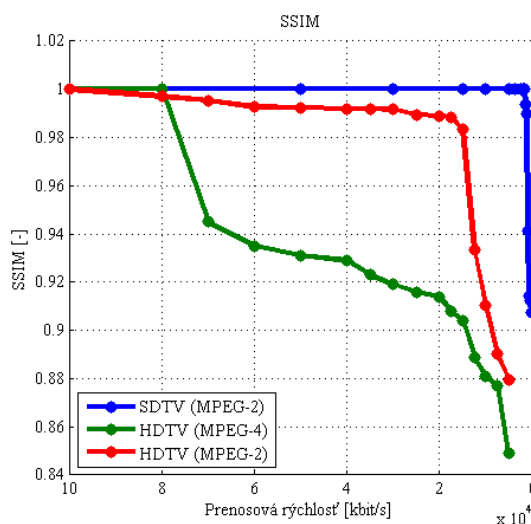
Obrázok 6.56: PSNR



Obrázok 6.57: MSE

Na obrázku 6.56 je zobrazený graf objektívnej metódy PSNR. Najmenší vplyv na priepustnosť siete má vzorka SDTV (MPEG-2), rovnako ako u siete WDM-PON. Naopak najväčší vplyv má vzorka HDTV (MPEG-2), už pri priepustnosti 80000 kbit/s nastáva výrazne zhoršenie kvality video vzorku. Na obrázku 6.57 je zobrazená objektívna metóda MSE. Prvý veľký skok zhoršenia kvality nastáva u vzorku HDTV (MPEG-4) pri priepustnosti siete 80000 kbit/s. Pri priepustnosti 10000 kbit/s dochádza ku zmene a vzorek HDTV (MPEG-2) má najhoršiu hodnotu metódy MSE. Na obrázku 6.58 je zobrazený graf objektívnej metódy SSIM. Podobne ako sieť WDM-PON, najhoršie na tom dopadol vzorek HDTV (MPEG-4), dosahoval najhorších hodnôt a zmena pri klesajúcej priepustnosti výrazne nastala pri priepustnosti siete 80000 kbit/s.

Nasadenie siete WDM-PON na stávajúcu sieť GePON nemalo veľký vplyv na objektívne meranie IPTV služby. Zhoršenie nastalo, ale nie až v takej veľkej miere. Hodnoty boli prijateľné.

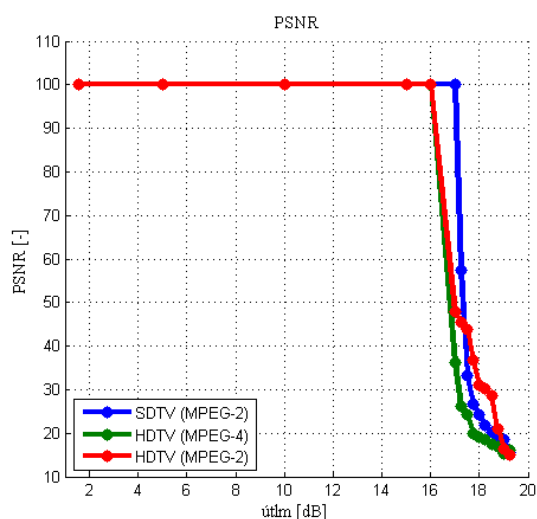


Obrázok 6.58: SSIM

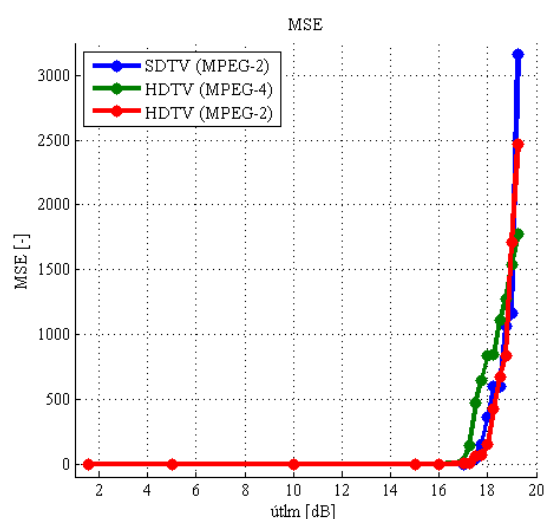
2. Vplyv útlmu siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM.

Na obrázkoch 6.59, 6.60, 6.61 sú zobrazené grafy, ktoré vyjadrujú vplyv útlmu siete na objektívne metódy PSNR, MSE a SSIM. Podľa zobrazených grafov sa došlo k záveru, že zväčšujúci útlm má približne rovnaký vplyv na všetky tri video vzorky. Pri útlmu 17 dB dochádzalo k zhoršenej kvalite video vzorkou. Maximálny možný útlm pre určenie objektívnych metód bol 19,25 dB. Pri hodnote 20,5 dB koncová jednotka vypadla.

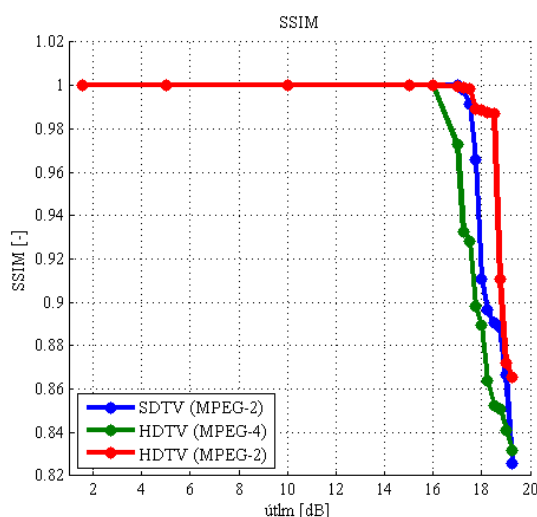
Nasadenie siete WDM-PON na stávajúcu sieť GePON nemalo veľký vplyv na objektívne meranie IPTV služby. Zhoršenie nastalo, ale nie až v takej veľkej miere. Hodnoty boli prijateľné.



Obrázok 6.59: PSNR



Obrázok 6.60: MSE



Obrázok 6.61: SSIM

6.7 Meranie kvality Triple Play služieb pomocou EtherSAMu

V tejto časti merania som sa zaoberal meraním kvality Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM (ITU-T Y.1564). Štandard EtherSAM sa nachádzal v prístroji FTB-860 NetBlazer. Každý test trval približne 2 minúty a 40 sekúnd. Pozostával z dvoch testov:

- overenie konfigurácie siete,
- test služieb.

Pre následné vyhodnotenie som využíval parametre z druhého testu (test služieb). Testované parametre boli max. jitter (kolísanie oneskorenia), frame loss (strata a poškodenie rámcov), latency (oneskorenie prenosu) a max. throughput (priepustnosť). Použité profily a dané služby pre meranie kvality Triple Play služieb sú zobrazené v tabuľke 6.14. Ku testovaniu parametrov potrebuje prístroj

FTB-860 NetBlazer aj Smart Loopback jednotku (AXS-850). Prístroj bol pripojený optickým káblom ku OLT jednotke WDM-PON. Prístrojom bola automaticky priradená IP adresa s DHCP serveru, ktorý fungoval na OLT jednotke WDM-PON.

Meranie kvality Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM sa uskutočnilo na sieťach WDM-PON a následne bola nasadená na stavajúcu sieť GePON.

Tabuľka.6.14: Profily pre meranie kvality Triple Play.

Profil	Video	VoIP	Dáta
1	HDTV (MPEG-2) 20,443 Mbit/s	G.711 0,126 Mbit/s	40 Mbit/s
2	HDTV (MPEG-4) 10,592 Mbit/s	G.723.1 0,039 Mbit/s	20 Mbit/s
3	SDTV (MPEG-2) 3,972 Mbit/s	G.729 0,027 Mbit/s	10 Mbit/s

6.7.1 WDM-PON

Použitá topológia pre meranie kvality Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM pre sieť WDM-PON je zobrazená na obrázku 6.36.

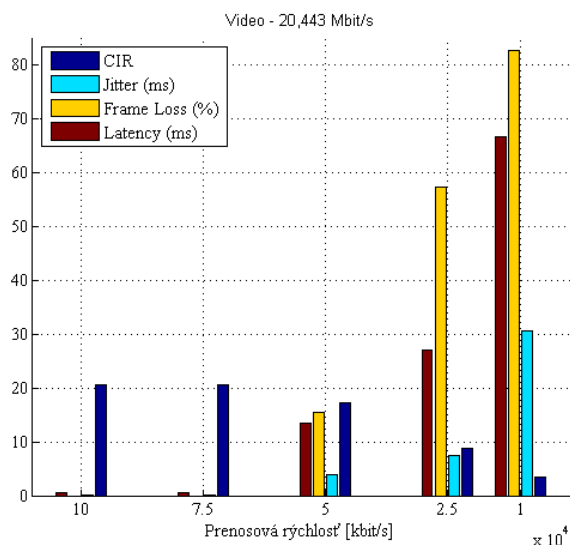
Zapojenie, ktoré odpovedá tomuto meraniu je vykreslené čiarkovanou čiarou (čierna farba značí metalické vedenie a farebná optické vedenie). Ako je možné vidieť v topológii sú použité dve koncové jednotky ONT (ONT1 a ONT2).

Prvá koncová jednotka ONT1 bola použitá pre meranie, kde sa vplyvom priepustnosti siete mení kvalita Triple Play služieb. Šírka pásma, čiže priepustnosť siete bola menená v OLT jednotke WDM-PON pomocou grafického užívateľského rozhrania WDM-PON Release 3. K tomuto rozhraniu bol pripojený konfiguračný notebook cez EMS port na strane OLT jednotky a na strane notebooku cez sieťovú kartu UTP káblom (kríženým).

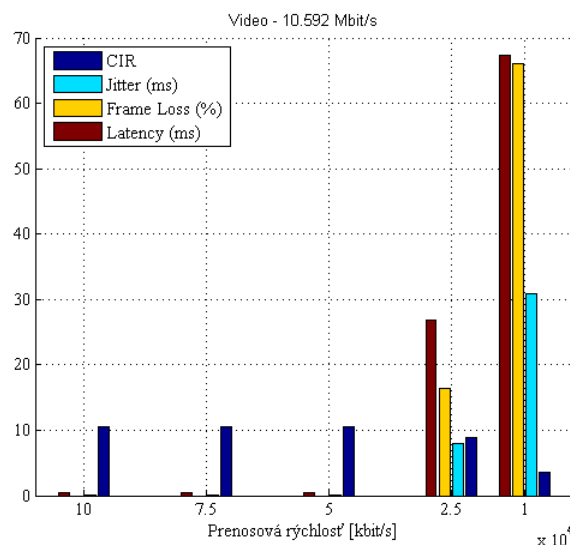
Druhá koncová jednotka ONT2 bola použitá pre meranie, kde so zvyšujúcim útlmom v sieti sa mení kvalita Triple Play služieb. Útlm v sieti spôsoboval prístroj FVA-60B (simulátor vedenia). Simulator vedenia bol pripojený na 25 kanál AWG filtru, pretože tento kanál vysielal najbližšie ku vlnovej dĺžke 1550 nm. Prístroj FVA-60B pracuje na dvoch vlnových dĺžkach 1310 a 1550 nm. Kanál s číslom 25 bol určený postupným meraným útlmom priamou metódou všetkých kanálov AWG filtru.

Výsledky objektívneho merania pre sieť WDM-PON je možné vidieť nižšie. Najprv pre prípad vplyvu priepustnosti a následne vplyvu útlmu:

1. Vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



Obrázok 6.62: Video 20,443 Mbit/s.

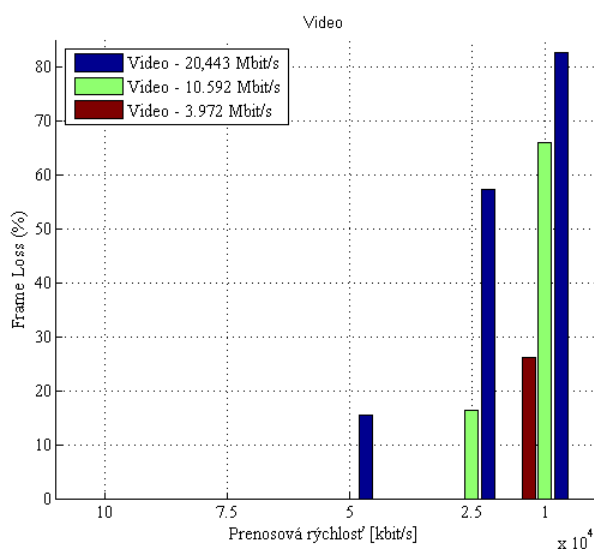


Obrázok 6.63: Video 10,592 Mbit/s.

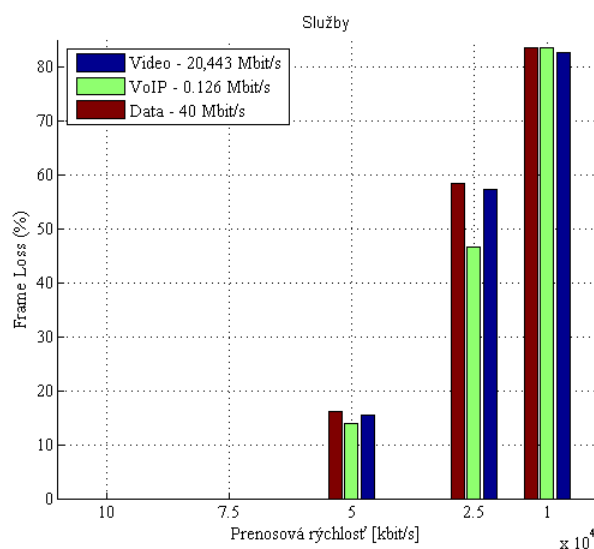
Na obrázku 6.62 je možné vidieť použitý profil 1, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – HDTV (MPEG-2). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel všetky ostatné hodnoty sa zväčšujú. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov). Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete.

Na obrázku 6.63 je ale možné vidieť profil 2, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – HDTV (MPEG-4). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel všetky ostatné hodnoty sa zväčšujú. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter latency (oneskorenie prenosu), nie ako to bolo u služby Video – HDTV (MPEG-2). Zmeny nastali pre túto službu približne v priepustnosti siete 25 Mbit/s. V profile 3, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – SDTV (MPEG-2) bola hodnota parametru latency (oneskorenie prenosu) oproti hodnote parametru frame loss omnoho väčšia. Zmeny nastali pre službu približne v priepustnosti siete 10 Mbit/s.

Podobné výsledky boli dosiahnuté aj pre ostatné služby VoIP a Data, grafy je možné vidieť v prílohe 2.



Obrázok 6.64: Video.



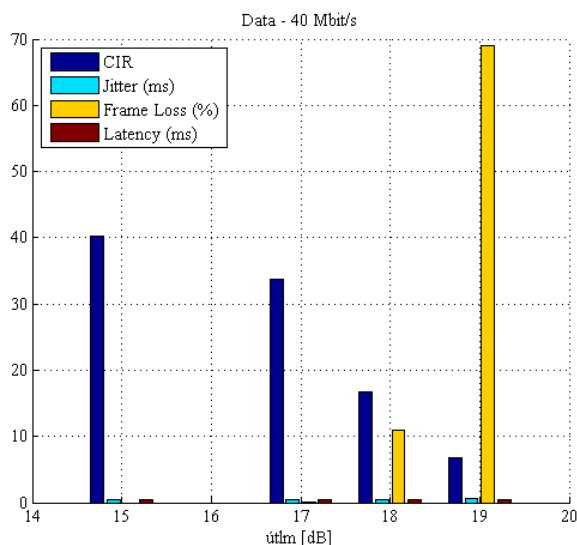
Obrázok 6.65: Služby.

Na obrázku 6.64 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv priepustnosti siete na parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov) služieb Videí (SDTV (MPEG-2), HDTV (MPEG-4) a HDTV (MPEG-2)). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa frame loss zväčšuje. Pre jednotlivé profily služby Video rozdielne. Najväčšiu a najrýchlejšiu zmenu dosahuje služba Video – HDTV (MPEG-2). Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete. Podobného rastu dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

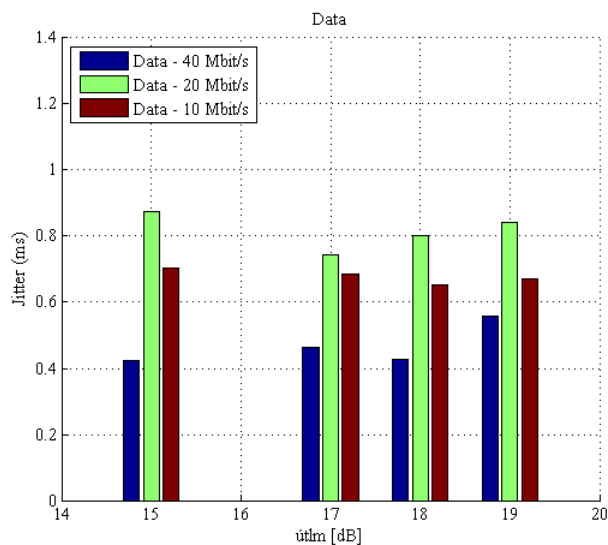
Na obrázku 6.65 je možné vidieť profil 1, vplyv priepustnosti siete na parameter frame loss. Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota frame loss zväčšuje a to pre každú službu v profile rovnako. Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete. V profile 2 zmeny nastali približne v priepustnosti siete 25 Mbit/s a v profile 3 zmeny nastali približne v priepustnosti siete 10 Mbit/s.

Podobného rastu dosahujú aj služby VoIP a Data v daných profiloch. To sa týka aj ostatných parametrov jitter a latency. Grafy je možné vidieť v prílohe 2.

2. Vplyv útlmu siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



Obrázok 6.66: Dáta 40 Mbit/s.

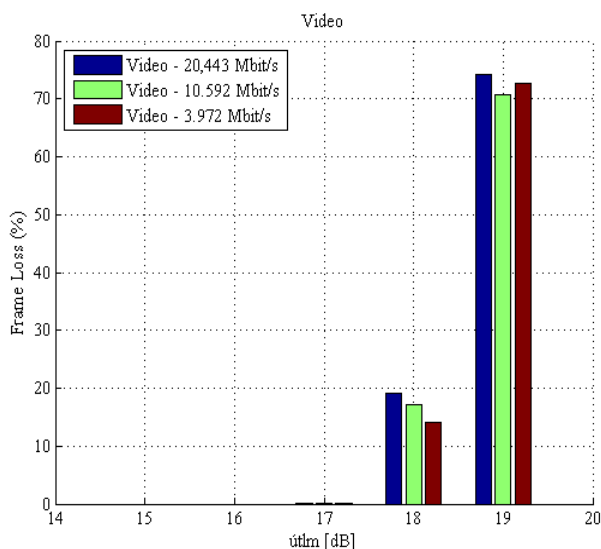


Obrázok 6.67: Dáta

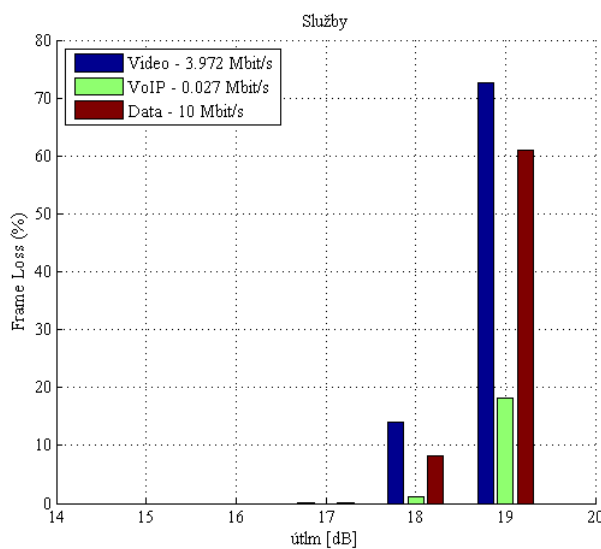
Na obrázku 6.66 je možné vidieť použitý profil 1, vplyv útlmu siete na testovacie parametre služby Data – 40 Mbit/s. Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel iba hodnota frame loss sa zväčšuje. Testovacie parametre jitter a latency ostávajú po celú dobu nezmenené, čiže útlm siete nemá vplyv na kolísanie oneskorenia a oneskorenie prenosu. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter frame loss ako bolo už napísané. Zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné služby Video a VoIP v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

Na obrázku 6.67 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv útlmu siete na parameter jitter (kolísanie oneskorenia) služieb Data (40 Mbit/s, 20 Mbit/s, 10 Mbit/s). Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnoty parametru jitter nemenia. Pre jednotlivé profily sú hodnoty približne rovnaké, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter jitter. Podobné výsledky dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

Na obrázku 6.68 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv útlmu siete na parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov) služieb Videí (SDTV (MPEG-2), HDTV (MPEG-4) a HDTV (MPEG-2)). Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa parameter frame loss zväčšuje. Pre jednotlivé profily služby Video približne rovnako, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter frame loss. Zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.



Obrázok 6.68: Video



Obrázok 6.69: Služby

Na obrázku 6.69 je možné vidieť profil 3, vplyv útlmu siete na parameter frame loss. Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnota frame loss zväčšuje a to pre každú službu v profile rozdielne, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter frame loss. V každom profile zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné profile 1 a 2, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

6.7.2 Nasadenie WDM-PON na stavajúcu sieť GePON

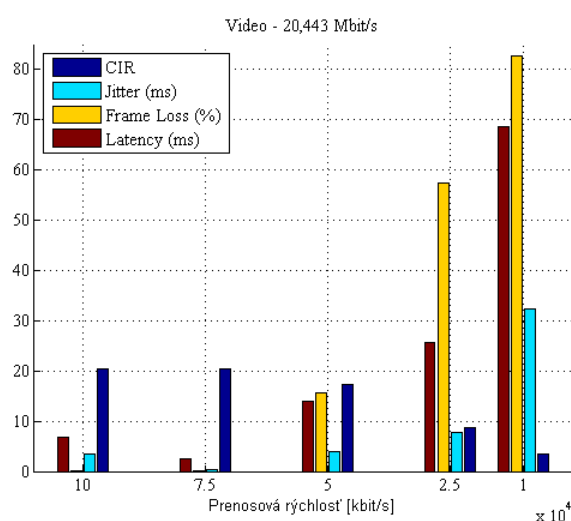
Použitá topológia pre meranie kvality Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM pri nasadení WDM-PON siete na stavajúcu sieť GePON je zobrazená na obrázku 6.37. Zapojenie, ktoré odpovedá tomuto meraniu je vykreslené čiarkovanou čiarou (čierna farba značí metalické vedenie a farebná optické vedenie). Ako je možné vidieť topológia sa skladá s topológie WDM-PON, len koncové jednotky ONT1 a ONT2 (WDM-PON) sú pripojené na stávajúcu sieť GePON. Sieť GePON cez pripojený splitter má pripojené svoje koncové jednotky ONT1 a ONT2. Práve koncová jednotka ONT2 je použitá pre meranie kvality Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM (ku jednotke sa pripojí prístroj FTB-860 NetBlazer, ktorý obsahuje už spomínaný štandard EtherSAM (ITU-T Y.1564)). Podľa typu merania bude aktivovaná príslušná koncová jednotka na strane WDM-PON.

Prvá koncová jednotka ONT1 bola použitá pre meranie, kde sa vplyvom priepustnosti siete mení kvalita Triple Play služieb. Šírka pásma, čiže priepustnosť siete bola menená v OLT jednotke WDM-PON pomocou grafického užívateľského rozhrania WDM-PON Release 3. K tomuto rozhraniu bol pripojený konfiguračný notebook cez EMS port na strane OLT jednotky a na strane notebooku cez sieťovú kartu UTP káblom (kríženým).

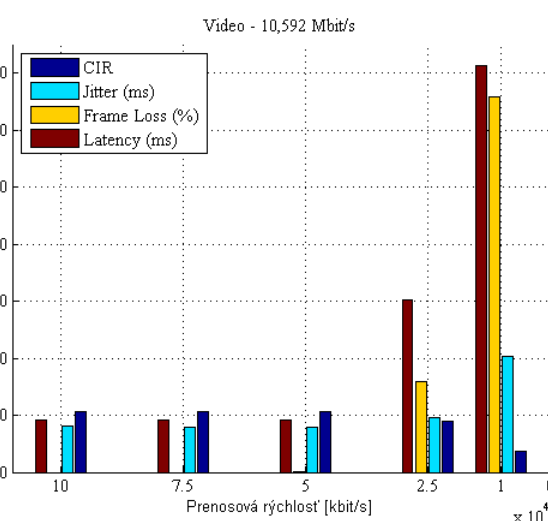
Druhá koncová jednotka ONT2 bola použitá pre meranie, kde so zvyšujúcim útlmom v sieti sa mení kvalita Triple Play služieb. Útlm v sieti spôsoboval prístroj FVA-60B (simulátor vedenia). Simulator vedenia bol pripojený na 25 kanál AWG filtru, pretože tento kanál vysielal najbližšie ku vlnovej dĺžke 1550 nm. Prístroj FVA-60B pracuje na dvoch vlnových dĺžkach 1310 a 1550 nm. Kanál s číslom 25 bol určený postupným meraným útlmom priamou metódou všetkých kanálov AWG filtru.

Výsledky merania kvality Triple Play služieb pri nasadení WDM-PON siete na stavajúcu sieť GePON je možné vidieť nižšie. Najprv pre prípad vplyvu priepustnosti a následné vplyvu útlmu:

1. Vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



Obrázok 6.70: Video 20,443 Mbit/s.

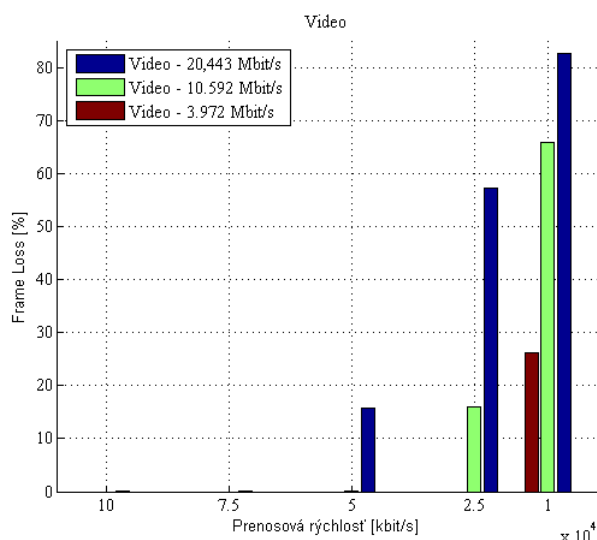


Obrázok 6.71: Video 10,592 Mbit/s.

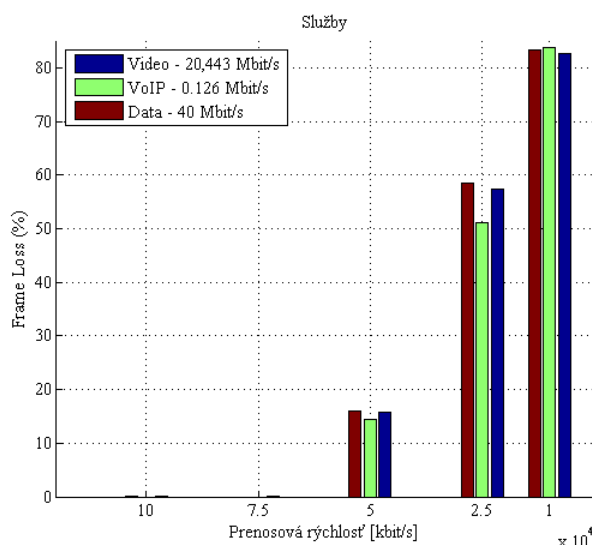
Na obrázku 6.70 je možné vidieť použitý profil 1, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – HDTV (MPEG-2). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel všetky ostatné hodnoty sa zväčšujú. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov). Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete. Môžeme spozorovať nepatrné zhoršenie parametrov latency a jitter-u v prvej polovici priepustnosti siete oproti samotnej topológii WDM-PON.

Na obrázku 6.71 je ale možné vidieť profil 2, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – HDTV (MPEG-4). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel všetky ostatné hodnoty sa zväčšujú. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter latency (oneskorenie prenosu), nie ako to bolo u služby Video – HDTV (MPEG-2). Zmeny nastali pre túto službu približne v priepustnosti siete 25 Mbit/s. Tu už je možné vidieť omnoho väčšie zhoršenie parametrov latency a jitter-u v prvej polovici priepustnosti siete oproti samotnej topológii WDM-PON. V profile 3, vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre služby Video – SDTV (MPEG-2) bola hodnota parametru latency (oneskorenie prenosu) oproti hodnote parametru frame loss omnoho

väčšia. Zmeny nastali pre službu približne v priepustnosti siete 10 Mbit/s. Podobného rastu dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.



Obrázok 6.72: Video.

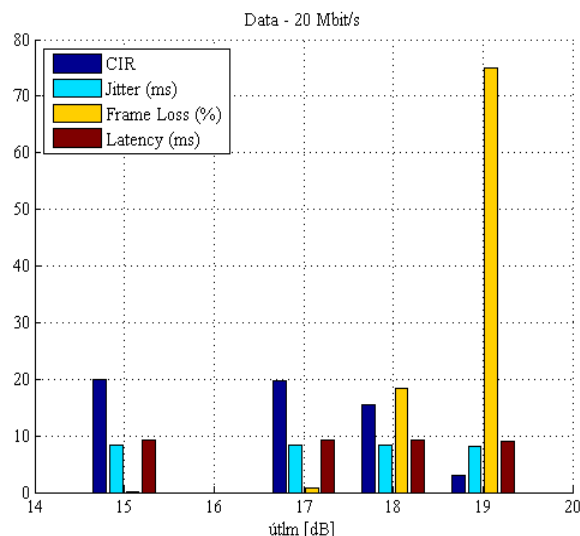


Obrázok 6.73: Služby.

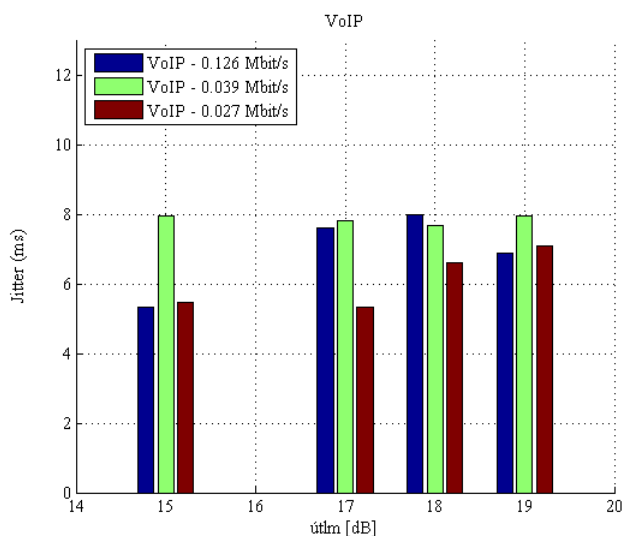
Na obrázku 6.72 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv priepustnosti siete na parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov) služieb Videí (SDTV (MPEG-2), HDTV (MPEG-4) a HDTV (MPEG-2)). Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa frame loss zväčšuje. Pre jednotlivé profily služby Video rozdielne. Najväčšiu a najrýchlejšiu zmenu dosahuje služba Video – HDTV (MPEG-2). Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete. Môžeme spozorovať pomerne rovnaké hodnoty parametrov ako v topológii WDM-PON. Podobného rastu dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

Na obrázku 6.73 je možné vidieť profil 1, vplyv priepustnosti siete na parameter frame loss. Pri postupnom znižovaní priepustnosti siete sa hodnota frame loss zväčšuje a to pre každú službu v profile rovnako. Zmeny nastali pre túto službu približne v polovici priepustnosti siete. V profile 2 zmeny nastali približne v priepustnosti siete 25 Mbit/s a v profile 3 zmeny nastali približne v priepustnosti siete 10 Mbit/s. Môžeme spozorovať pomerne rovnaké hodnoty parametrov ako v topológii WDM-PON. Podobného rastu dosahujú aj služby VoIP a Data v daných profiloch. To sa týka aj ostatných parametrov jitter a latency. Grafy je možné vidieť v prílohe 2.

2. Vplyv útlmu siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



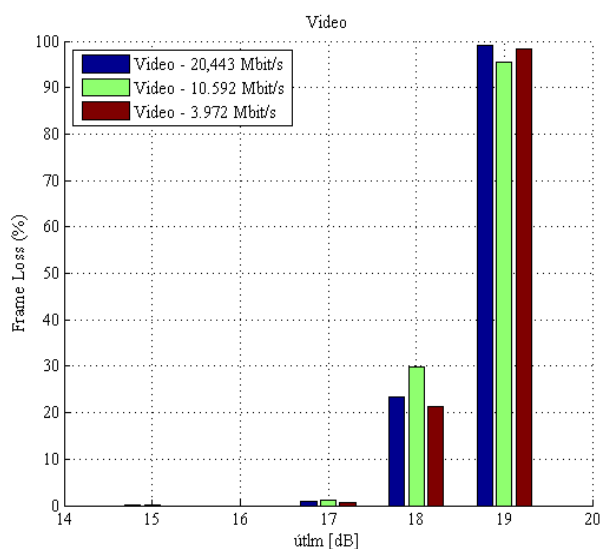
Obrázok 6.74: Data 20 Mbit/s



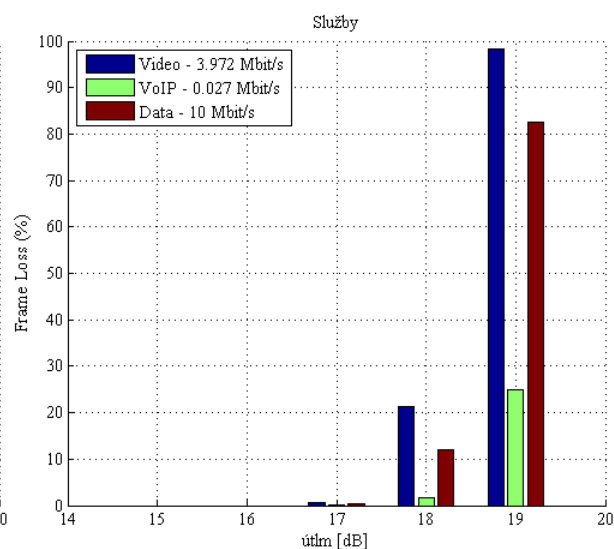
Obrázok 6.75: VoIP

Na obrázku 6.74 je možné vidieť použitý profil 1, vplyv útlmu siete na testovacie parametre služby Data – 40 Mbit/s. Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnota CIR znižuje, ale na rozdiel iba hodnota frame loss sa zväčšuje. Testovacie parametre jitter a latency ostávajú po celú dobu nezmenené, čiže útlm siete nemá vplyv na kolísanie oneskorenia a oneskorenie prenosu. Najväčšiu zmenu dosahuje parameter frame loss ako bolo už napísané. Zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Môžeme spozorovať zhoršenie parametrov latency a jitter-u v celej škále merania útlmu siete oproti samotnej topológii WDM-PON. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné služby Video a VoIP v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

Na obrázku 6.75 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv útlmu siete na parameter jitter (kolísanie oneskorenia) služieb VoIP (G.711, G.723.1, G.729). Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnoty parametru jitter nemenia. Pre jednotlivé profily sú hodnoty približne rovnaké, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter jitter. Dochádza ku zhoršeniu hodnôt parametrov latency a jitter-u oproti samotnej topológii WDM-PON. Podobné výsledky dosahujú aj ostatné služby Video a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.



Obrázok 6.76: Video



Obrázok 6.77: Služby

Na obrázku 6.76 je možné vidieť použité profily 1 až 3, vplyv útlmu siete na parameter frame loss (strata a poškodenie rámcov) služieb Videí (SDTV (MPEG-2), HDTV (MPEG-4) a HDTV (MPEG-2)). Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa parameter frame loss zväčšuje. Pre jednotlivé profily služby Video približne rovnako, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter frame loss. Zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Dochádza ku zhoršeniu hodnôt parametru frame loss oproti samotnej topológii WDM-PON. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné služby VoIP a Data v daných profiloch, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

Na obrázku 6.77 je možné vidieť profil 3, vplyv útlmu siete na parameter frame loss. Pri postupnom zväčšovaní útlmu siete sa hodnota frame loss zväčšuje a to pre každú službu v profile rozdielne, na rozdiel od vplyvu priepustnosti siete na parameter frame loss. V každom profile zmeny nastali približne od hodnoty útlmu 18 dB. Dochádza ku zhoršeniu hodnôt parametru frame loss oproti samotnej topológii WDM-PON. Podobného rastu, či výsledkov dosahujú aj ostatné profily 1 a 2, grafy je možné vidieť v prílohe 2.

7 Záver

Siete novej generácie predstavujú ďalší vývojový skok v oblasti optických prístupových sietí. Cieľom absolventskej práce je štúdium problematiky ich nasadenia v praxi spolu s zákaznícky orientovanými službami Triple Play. Diplomová práca pozostáva z troch teoretických bodov.

V prvom bode popisujem problematiku optických prístupových sietí novej generácie. Aby bolo možné sa do tejto témy ponoriť, musel som najprv vysvetliť čo optická prístupová sieť znamená. Jej základné rozdelenie, typy spojenia (Point to Point, Point to Multipoint). Aké sú základné prvky optickej pasívnej siete, či optické prístupové siete FTTx a prenos optického signálu v prístupovej sieti. Tu patria tri základné metódy a to TDM, FDM a WDM. Popísal som aj pasívne optické prístupové siete, medzi ktoré patrí APON, BPON, GPON, EPON. Už od siete 10GEPON a hore všetky optické prístupové siete patria do sietí novej generácie (XG-PON, WDM-PON, Hybridné WDM-TDMA PON, SPON, L-R PON). Následne som prešiel k aktuálnej téme siete novej generácie. Dôležitou časťou je architektúra NGA. Keďže celá moja diplomová práca sa pohybuje okolo WDM-PON siete, tak som značnú časť teoretickej časti venoval práve sieťam WDM-PON. WDM-PON obsahuje tri technológie multiplexu (WDM, CWDM a DWDM). Práve vlnový multiplex CWDM označený ako hrubý je rozdelený do pásiem O, E, S, C a L. Pásma C a L, využila jednotka OLT WDM-PON pre komunikáciu s koncovými jednotkami ONT. Smer od poskytovateľa k účastníkovi C pásmo a naopak L pásmo. Dôležité sú aj štyri hlavné varianty WDM-PON, ktoré boli vysvetlené.

V druhom bode popisujem grafické užívateľské prostredie WDM-PON Release 3, základný grafický popis tohto programu, ktorý sa použil k ovládaniu či monitorovaniu siete WDM-PON sa nachádza v diplomovej práci. Nastavovanie služieb (DHCP, QoS-Band limit, Multicasting, VLAN) je popísané v prílohe diplomovej práci.

Samostatnú časť v práci tvoria Triple Play služby. Sú to služby prenosu hlasu, obrazu a dát. ktoré sú poskytované užívateľom cez jednu zákaznícku zásuvku. Neodmysliteľnou časťou Triple Play služieb je kvalita služieb QoS. Kvalita služieb je súbor opatrení, ktoré zaisťujú určitý stupeň spokojnosti koncového užívateľa. A tým som sa dostal k tretiemu bodu diplomovej práci, kde popisujem objektívne metódy pre meranie Triple Play služieb. Okrem toho sa viac zaoberám IPTV službou (architektúra IPTV, prenos TV kanálov, použité protokoly a kodeky v IPTV). Medzi najviac používané objektívne metódy v IPTV službe patria PSNR, SSIM, MSE. Čo sa týka služby VoIP služby popisujem požiadavky na prenos s metódy merania kvality služby VoIP.

V štvrtom bode prechádzam na praktickú časť, kde som uskutočnil meranie kvality Triple Play služieb za simulovanej prevádzky WDM-PON siete. Meranie sa rozdelilo do dvoch bodov. V prvom bode sa zaoberám objektívnym meraním IPTV služby. Mál som k dispozícii tri video vzorky

(SDTV/MPEG-2, HDTV/MPEG-4 a HDTV/MPEG-2). Výpočet objektívnych metód som uskutočnil pomocou programu MSU Video Quality. Program dokázal porovnať pôvodný video vzorek so vzorkom, ktorý prešiel danou sieťou. Zmeral som závislosť priepustnosti siete na objektívne metódy, závislosť útlmu siete na objektívne metódy a závislosť záťaže siete na objektívne metódy. V druhom bode som meral kvalitu Triple Play služieb pomocou štandardu EtherSAM. Prístroj ktorý obsahoval tento štandard má označenie FTB-860 NetBlazer. Boli zmerané rovnaké závislosti ako v bode s objektívnym meraním.

V piatom bode som nasadil WDP-PON na stávajúcu GePON sieť. Nasadenie bolo úspešné, uskutočnil som rovnaké merania aj na túto typológiu. Pomocou spektrálneho analyzátoru som overil aj spojenie siete WDM-PON a siete GePON do jedného optického vlákna cez optický delič v pomere 50:50. Spojenie bolo úspešné. Môžem teda skonštatovať, že môžu tieto technológie navzájom komunikovať, či pracovať bez ovplyvnenia. Každá sieť pracuje v inom rozsahu vlnových dĺžok.

V poslednom bode som prešiel k vyhodnoteniu nameraných hodnôt. Vplyv priepustnosti má vplyv na typ video vzorku, ale narozdiel útlm nie. Zátťaž sa neprejavila, nedokázal som pri spustený všetkých jednotiek vytážiť dostatočné danú sieť, naopak to bolo zo záťažou jednej ONT jednotky.

Použitá literatura

- [1] LAFATA, Pavel; VODRÁŽKA, Jiří. Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí. *Elektrorevue* [online]. 26.7.2009, 2009/39. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/>>. ISSN 1213-1539.
- [2] ŠIŠKA, Petr; LÁTAL, Jan. Telekomunikační sítě: Pasivní optické přístupové sítě. VŠB-TU Ostrava: 6.2.2009. s. 16.
- [3] SÝKORA, J. Princip WDM. Access server [online]. 28. 07. 2004. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=princip-wdm&cislocclanku=2004072805>
- [4] LAFATA, Pavel; VODRÁŽKA, Jiří. Pasivní optická síť GPON. Access server [online]. 23. 05. 2009. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>. ISSN 1214-9675.
- [5] HLADKÝ, Miroslav; ŠIŠKA, Petr. VŠB Ostrava Experimentální pracoviště WDM PON.
- [6] LAFATA, Pavel; VODRÁŽKA, Jiří. Pasivní optická síť EPON. Access server [online]. 23. 05. 2009. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>. ISSN 1214-9675
- [7] VAŠINEK, Vladimír. Optoelektronika III: Přednáška č. 4. 2011.
- [8] LAFATA, Pavel. Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. Access server [online]. 10. 03. 2011. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>. ISSN 1214-9675.
- [9] HEADLEY, Clifford ; AGRAWAL, Godvind P. Raman Amplification : in fiber optical communication systems. London: Elsevier Academic Press, 2005. 374 s. ISBN 0-12-04506-9.
- [10] HLAVÁČEK J., BEŠŤÁK R. Access.feld.cvut.cz [online]. 21.01. 2010 [cit. 2012-05-04]. Aktuální problémy řízení kvality služeb v IP telefonii. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2010010003>>
- [11] LAFATA, Pavel. Pasivní optické sítě WDM-PON. Access server [online]. 24. 05. 2009. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>. ISSN 1214-9675.
- [12] PETERKA, Jiří. Lupa [online]. 2006 [cit. 2011-04-28]. Jak funguje IPTV. Dostupné z WWW: <http://www.lupa.cz/clanky/jak-funguje-iptv/>.
- [13] LAFATA, Pavel. Základy FTTx. Access server [online]. 23. 05. 2009 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/>>. ISSN 1214-9675.
- [14] MUKHERJEE, Biswanath. Optical WDM networks. New York: Springer, c2006, 953 s. ISBN 978-038-7290-553.

-
- [15] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno : Doc. Ing. Miloslav Filka, CSc., 2009. 369 s.
- [16] BOHÁČ, Leoš. Optické přenosové systémy X32OPS: Základní stavební bloky optického přenosového systému [online]. ČVUT, 2010 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz>.
- [17] KREJČÍ, J.; ZEMAN, T. Access Server [online]. 2008 [cit. 2011-04-28]. Úvod do IPTV. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz>>. ISSN 1214-9675>.
- [18] HLADKÝ, Miroslav. FTTX PRÍSTUPOVÉ INFRASTRUKTURY, Brno, 2008. 72 s. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [19] Optické siete FTTx [online]. [s.l.]: Tel Temp, 2007 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.teltemp.sk/svk/ELOSYS_2007_FTTH.pdf>.
- [20] HENS, Francisco; M. CABALLERO, Jose'. TRIPLE PLAY Building the Converged Network for IP, VoIP and IPTV. [s.l.] : John Wiley & Sons Ltd, 2008. 417 s.
- [21] VODRÁŽKA, J. <http://access.feld.cvut.cz> [online]. 2005 [cit. 2011-04-02]. Optické přístupové sítě EPON a CWDM. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz>>. ISSN 1214-9675>.
- [22] CEDRIC LAM, Passive Optical Network, [cit. 2012-05-04], Výhody a problémy WDM-PON, 72s.
- [23] Profiber [online]. 2010, 1. Dostupný z WWW:<http://www.profiber.cz/>.
- [24] ITU-TG.987. 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations, and acronyms. 2010. vyd. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987-201010-P>.
- [25] LAM, Cedric F. Passive optical networks: principles and practice. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, 324 s. ISBN 01-237-3853-9.

Zoznám príloh

Príloha.A: Podrobný návod pre nastavenie parametrov WDM-PON Release 3

Príloha.B: Výsledné grafy merania Triple Play služieb pomocou EtherSAM

Súčasťou DP je DVD.

Adresárová štruktúra priloženého DVD:

1. Výsledky merania spektrálnym analyzátorom EXFO FTB-400/5240B.
2. Výsledky objektívneho merania kvality IPTV služby.
3. Výsledky merania kvality Triple Play služieb pomocou EtherSAMu.
4. Anglické manuály ku WDM-PON Release 3.
5. Bloková schéma zapojenia prístrojov v miestnosti N311.
6. Elektronická podoba diplomovej práce.
7. Anglické manuály ku GePON iMAP 9102.

Príloha.A: Podrobný návod pre nastavenie parametrov Release 3

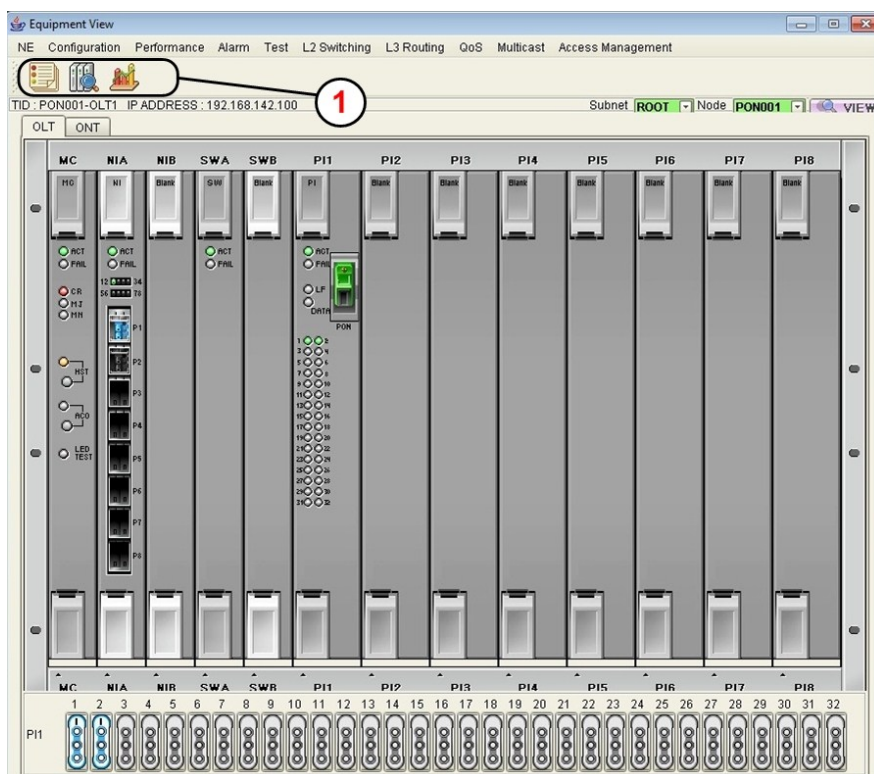
Práca s kartami

V tomto bode sa bližšie pozrieme na prácu s kartami WDM-PON. Hlavné okno pohľadu na použité zariadenia, či karty alebo jednotky je zobrazené na obrázku 1.1. Jednotka OLT siete WDM-PON obsahuje nasledujúce karty:

- MC - jednu udržiavaciu kartu,
- NIA - sieťové rozhranie, ktoré tvorí rozhranie so servisnou sieťou,
- SWA – softwarová karta, ktorá vykonáva spracovanie protokolov na 2 a 3 vrstve,
- PI – PON rozhranie PI kariet, spája sa s účastníckymi prístrojmi.

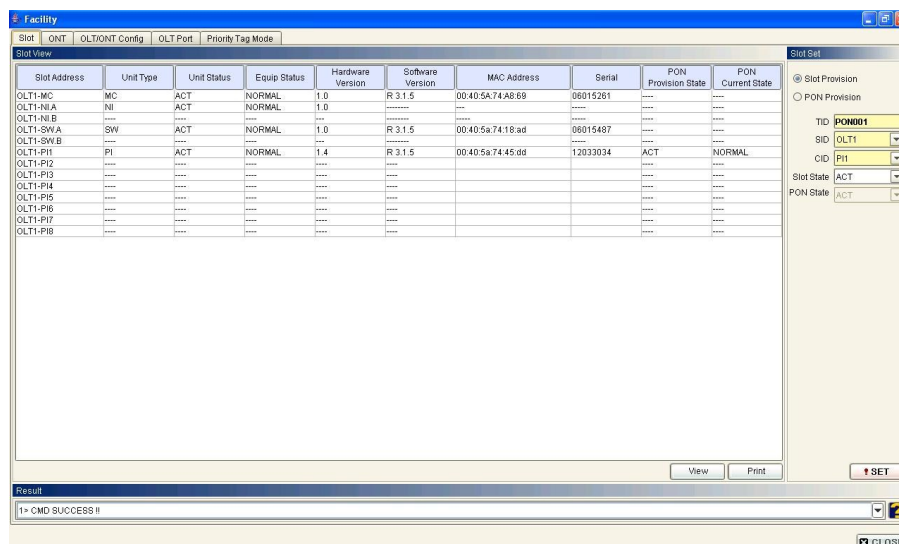
Vrchné hlavné menu slúži pre nastavenie rôznych služieb ako L2 Switching (VLAN, SVLAN, STP), L3 Routing (IP Config, OSPF), QoS (Band Limit), Multicast (IGMP Snooping, IGMP), Access Management (DHCP). Niektoré týmito službami sa zaoberám v prílohe diplomovej práce. Na obrázku 2.9 je označený panel ikon číslom 1, ktoré znamenajú:

- ikona pre správu alarmov pre príslušné NE,
- ikona pre správu slotov pre príslušné NE,
- ikona pre správu výkonu pre príslušné NE.



Obrázok 1.1: Okno pohľadu na zariadenia (Equipment View).

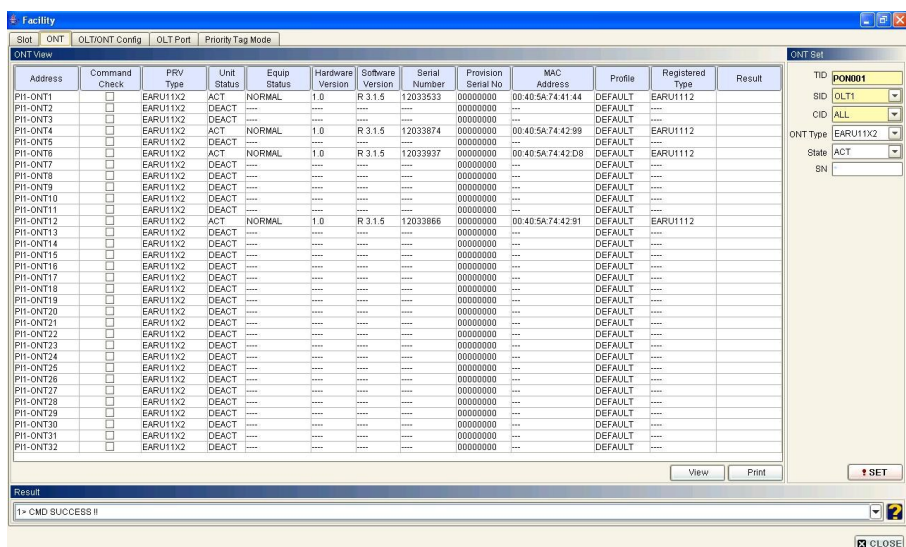
Ak prejdeme na vrchne hlavné menu karty Equipment View a otvoríme Configuration/Facility zobrazí sa nám okno Facility. V tomto okne môžeme aktivovať, či deaktivovať jednotlivé karty. Na obrázku 1.2 je zobrazené okno Facility/Slot, môžeme vidieť aktívnu kartu MC, NI/A, SW/A a PI1 (môžeme ju aktivovať a deaktivovať pomocou tlačidla SET).



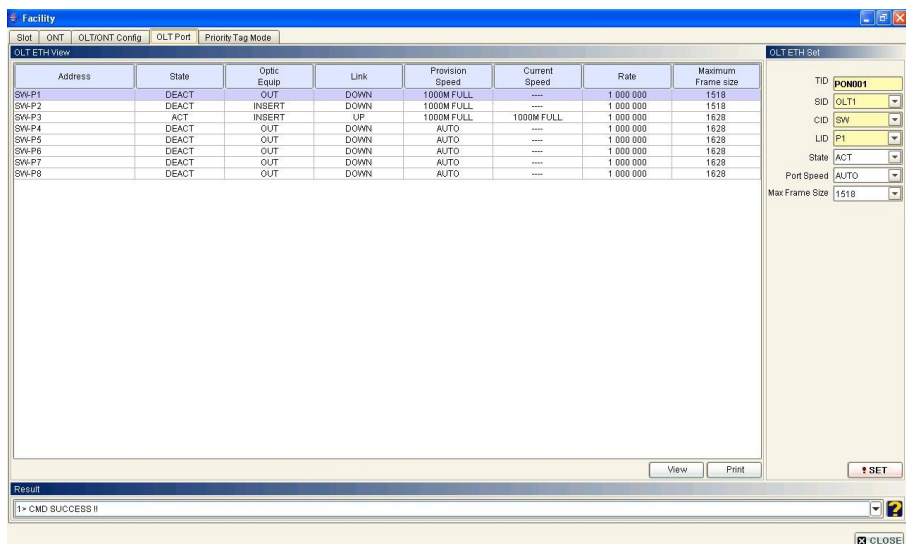
Obrázok 1.2: Okno pohľadu na Facility - Slot.

V okne Facility sú dôležité ešte dve pod okna. Prvé je Facility/ONT kde môžeme vidieť kartu PI a všetky účastnícke koncové jednotky (1-32). Môžeme ľubovoľné aktivovať, či deaktivovať jednotlivé karty nastavením položky STATE a stlačením tlačidla SET. Na obrázku 1.4 sú aktivované koncové jednotky ONT1, ONT4, ONT6 a ONT12.

V druhom okne Facility/OLT Port môžeme vidieť softwarovú kartu SW a všetky rozhrania P1 až P8. Podľa toho ktoré rozhranie využívame, tak ho aktivujeme, popřípade nastavíme rýchlosť prenosu a maximálnu veľkosť rámca z dvoch možností 1518 a 1628. Na obrázku 1.5 je aktivované rozhranie SW-P3.



Obrázok 1.3: Okno pohľadu na Facility - ONT.

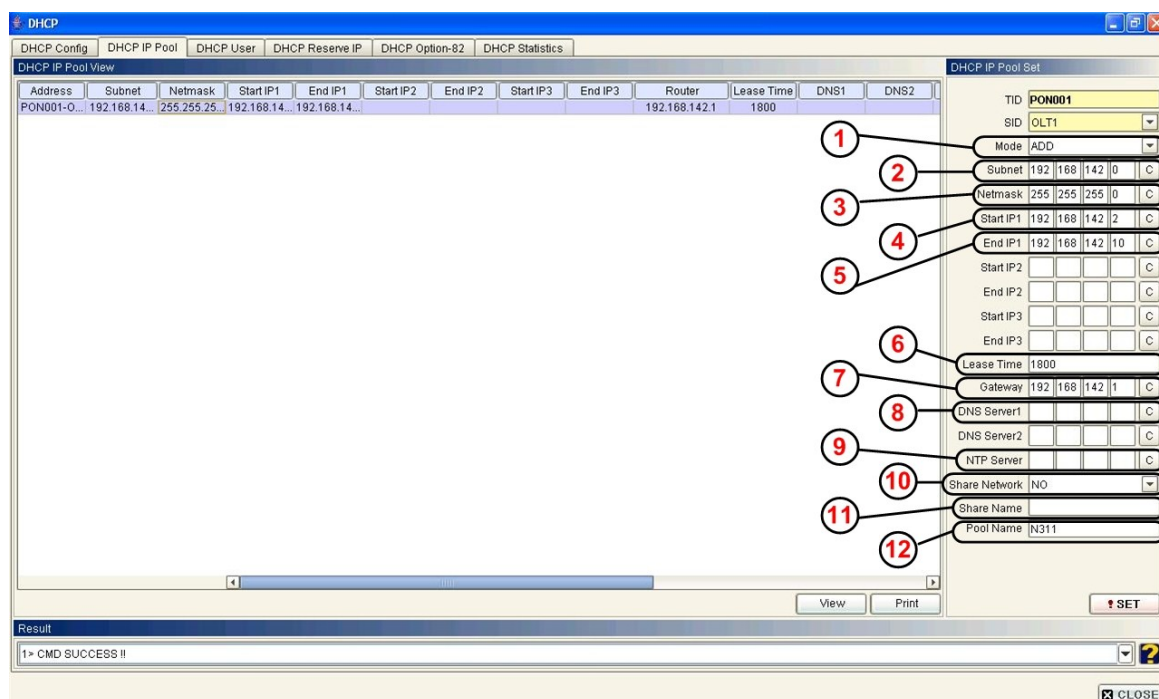


Obrázok 1.4: Okno pohľadu na Facility – OLT Port.

Konfigurácia DHCP funkcie

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) nie je názov protokolu z rodiny TCP/IP alebo označenie odpovedajúce DHCP serveru či klienta. Používa sa pre automatickú konfiguráciu počítačov pripojených do počítačovej siete. DHCP server prideliť počítaču pomocou DHCP protokolu hlavnú IP adresu, masku siete, implicitnú bránu a adresu DNS serveru. Platnosť pridelenia údajov je obmedzená, preto je na počítači spustený DHCP klient, ktorý ich platnosť predlžuje.

V tomto bode sa bližšie pozrieme na konfiguráciu DHCP funkcie WDM-PON, teda nastavenie DHCP serveru. Ako prvé si musíme nadefinovať tzv. IP Pool, kde sa zadáva sieť, maska, rozsah pridelovaných IP adries, východziu bránu a podobné.



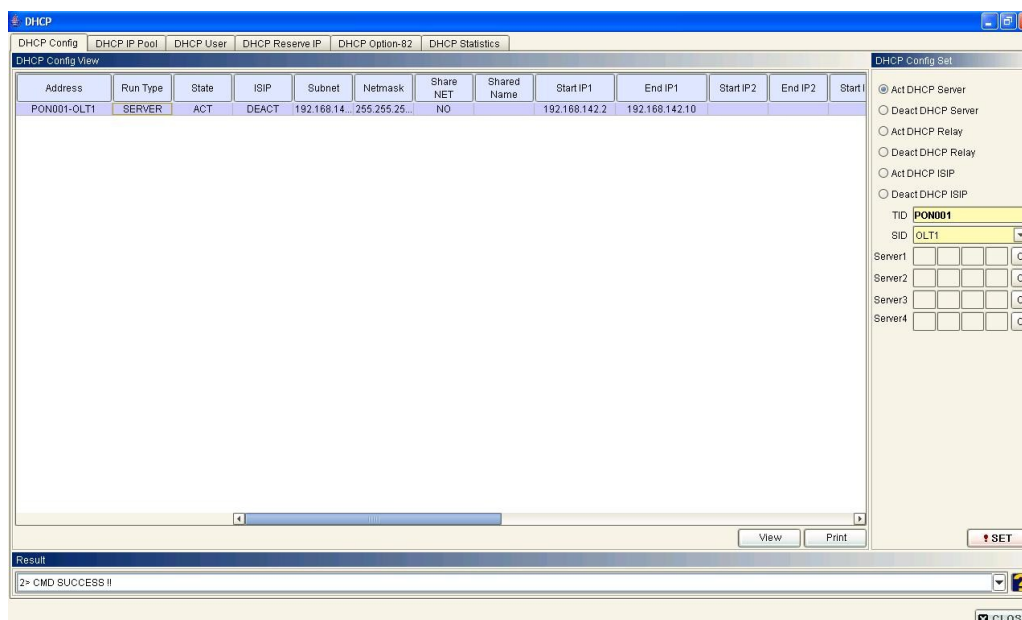
Obrázok 1.5: Okno DHCP/DHCP IP Pool.

V okne pohľadu na zariadenia (Equipment View) otvoríme kartu Access Management/DHCP/DHCP IP Pool. Karta je zobrazená na obrázku 1.5. Nastavíme potrebné parametre pre správne nadefinovanie karty IP Pool:

1. vložíme ADD pre vytvorenie IP Pool,
2. vložíme IP adresu siete,
3. vložíme masku siete,
4. vložíme počiatočnú IP adresu, ktorá sa priradí účastníkovi,
5. vložíme koncovú IP adresu, ktorá sa priradí účastníkovi,
6. vložíme ako dlho sa majú IP adresy požičiavať (1-864000),

7. vložíme IP adresu východzej brány,
8. môžeme nastaviť IP adresu DNS serveru,
9. môžeme nastaviť IP adresu NTP serveru, ktorý slúži k synchronizácii času,
10. zvolíme YES, ak budeme pridávať aj sekundárne IP,
11. vložíme meno, ak budeme pridávať aj sekundárne IP,
12. vložíme meno IP Pool-u.

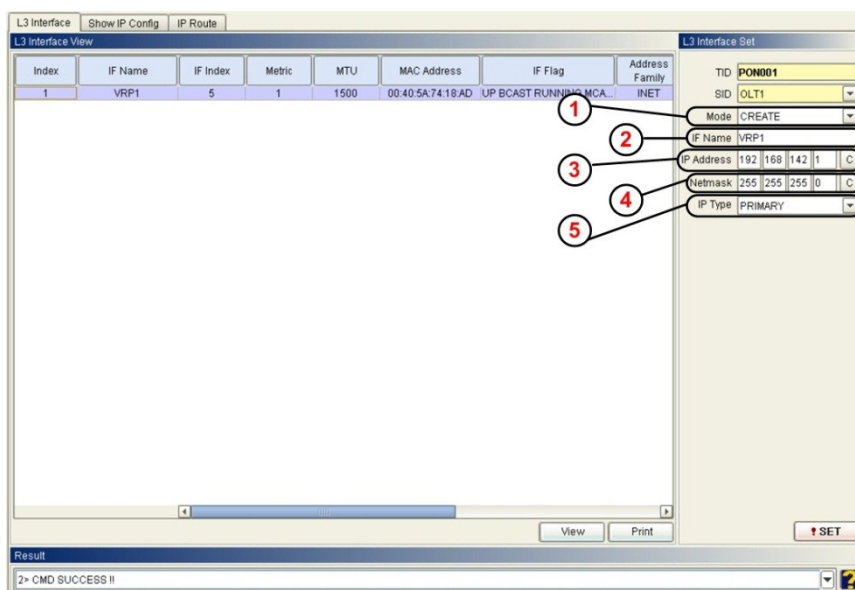
V druhom bode prejdeme ku aktivácii DHCP serveru. V okne pohľadu na zariadenia (Equipment View) otvoríme kartu Access Management/DHCP/DHCP Config. Karta je zobrazená na obrázku 1.6. Vyberieme nakonfigurovaný IP Pool v tabuľke DHCP Config View, podobné vyberieme v DHCP Config Set možnosť Act DHCP Server (aktivovanie DHCP serveru) a stlačíme tlačidlo SET.



Obrázok 1.6: Okno DHCP/DHCP Config.

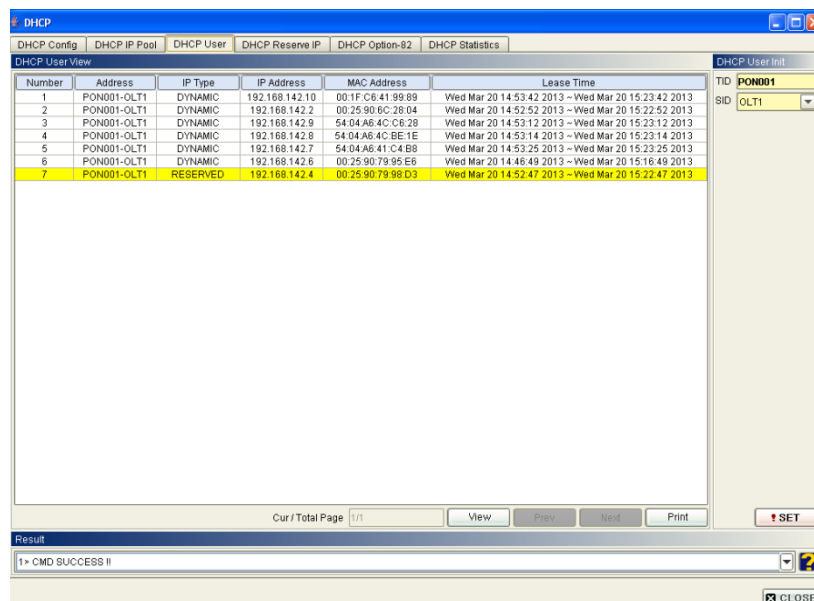
V poslednom treťom bode prejdeme ku prideleniu pridávaných IP adries na rozhranie VRP (Virtual Router Port). V okne pohľadu na zariadenia (Equipment View) otvoríme kartu L3 Routing/IP Config/L3 Interface. Karta je zobrazená na obrázku 1.7. Nastavíme potrebné parametre pre správne nadefinovanie karty IP Pool:

1. vložíme ADD pre vytvorenie VRP (Virtual Router Port),
2. vložíme názov VRP1,
3. vložíme IP adresu nastaveného IP Pool-u,
4. vložíme masku nastaveného IP Pool-u,
5. vložíme, či vyberieme PRIMARY pre priradenie iba z jedného rozsahu IP adries.



Obrázok 1.7: Okno IP Config/L3 Interface.

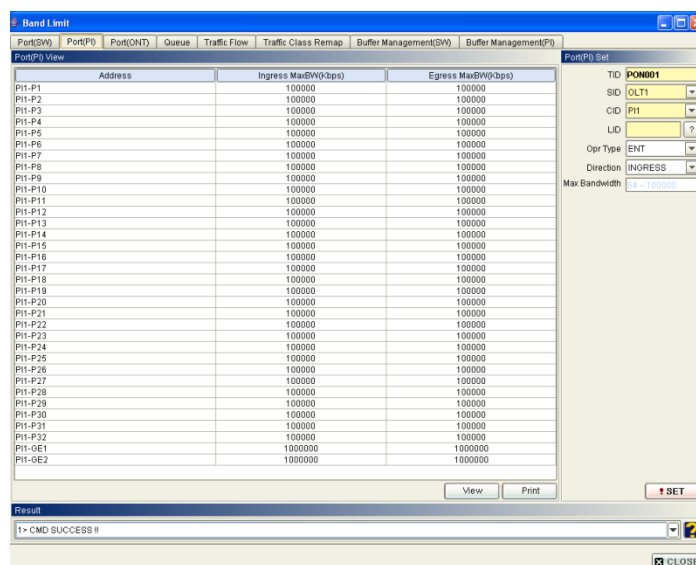
Správnosť nastavenia DHCP serveru a pridelené IP adresy zariadenia z nastaveného rozsahu IP adries je možné vidieť na obrázku 1.8 (posledná IP adresa je pevné rezervovaná – dátový server).



Obrázok 1.8: Okno DHCP/DHCP User.

Nastavenie priepustnosti siete

V objektívnom meraní kvality IPTV služby som využil pre meranie závislosti útlmu na objektívne metódy PSNR, SSIM a MSE nastavenie šírky pásma u WDM-PON. V okne pohľadu na zariadenia (Equipment View) otvoríme kartu QoS/Band Limit/Port(PI). Karta je zobrazená na obrázku 1.9. Je možné nastaviť šírku pásma pre každú koncovú jednotku osobitne.

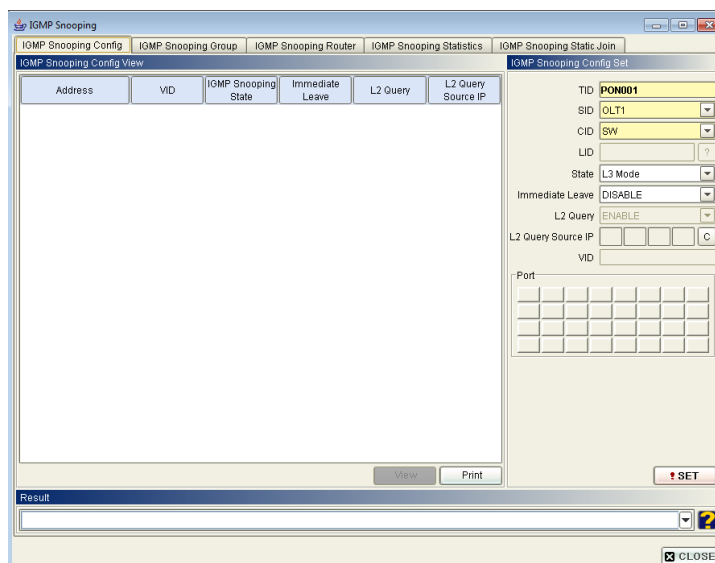


Obrázok 1.9: Okno QoS/Band Limit/Port(PI).

Nastavenie viacsmerového vysielania

Viacsmerové vysielanie je súčasťou internetového protokolu IP, používa sa s transportným protokolom UDP. Multicast ide prevádzkovať s RTP, ktorý je nad UDP. Vysielajúca stanica posieľa obsah na dynamicky vznikajúcu IP adresu z priestoru vyhradeného pre tieto účely, klienti môžu túto adresu zaregistrovať, k tomu slúži protokol IGMP, tým prijímať vysielajúci prúd. Tým sa šetrí prenosová kapacita linky, pretože dáta putujú iba raz na druhú stranu. Rezervované adresy sú z rozsahu 224.0.0.0-239.255.255.255, pre lokálne použitie sú rezervované 224.0.0.0/24 a 239.0.0.0/8.

Musíme aktivovať na karte Equipment View/Multicast/IGMP Snooping/Congif protokol IGMP a to tak, že zvolíme v poličku Immediate Leave možnosť ENABLE.

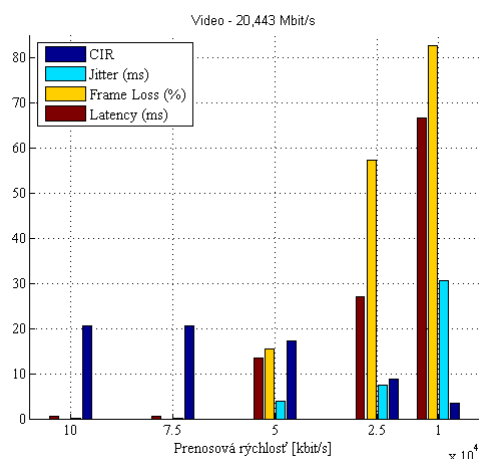


Obrázok 1.10: Okno Multicast/IGMP Snooping/IGMP Snooping Config.

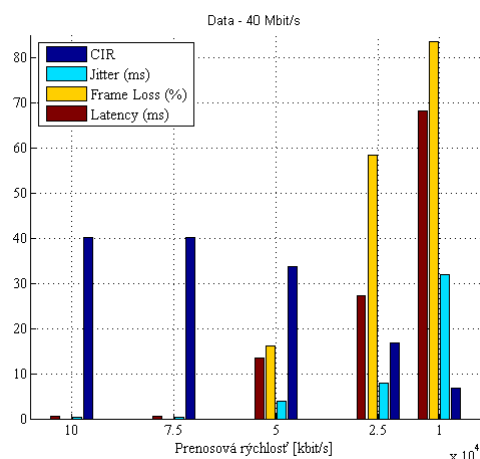
Príloha.B: Výsledné grafy merania Triple Play služieb - EtherSAM

WDM-PON

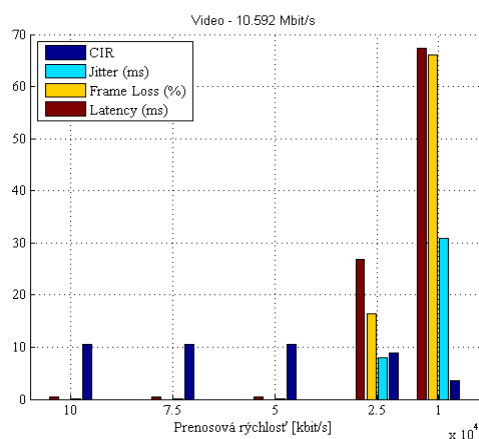
1. Vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre Triple Play služieb



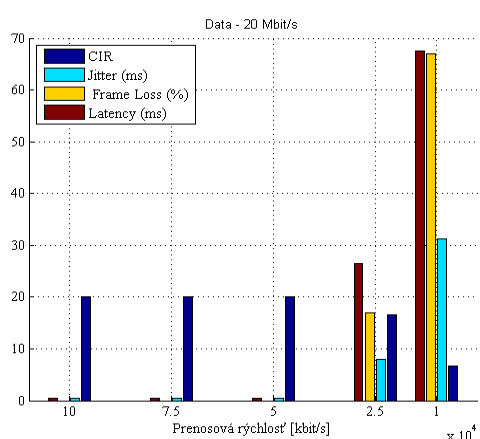
Obrázok 2.1: Video 20,443 Mbit/s.



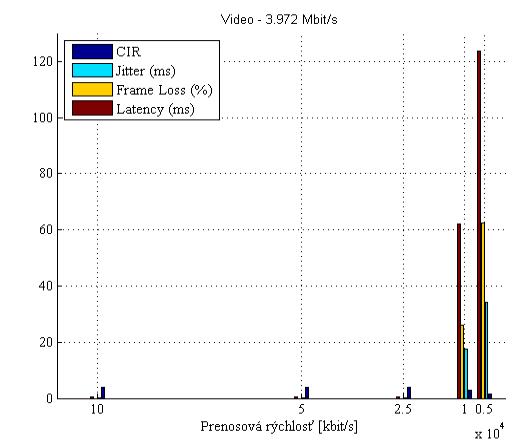
Obrázok 2.2: Dáta 40 Mbit/s.



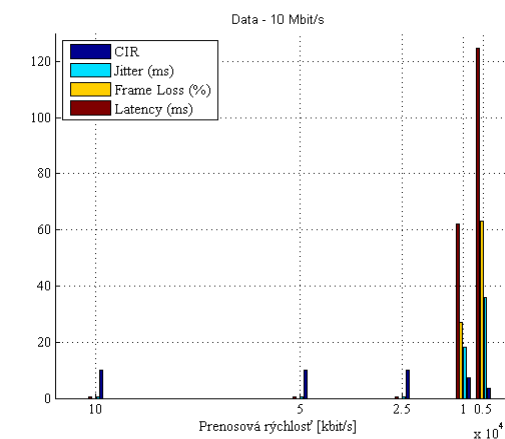
Obrázok 2.3: Video 10,592 Mbit/s.



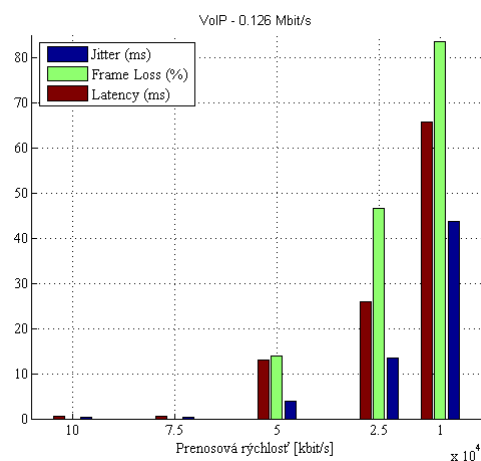
Obrázok 2.4: Dáta 20 Mbit/s.



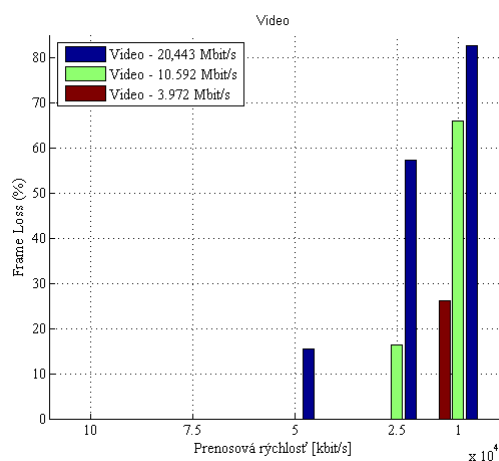
Obrázok 2.5: Video 3,972 Mbit/s.



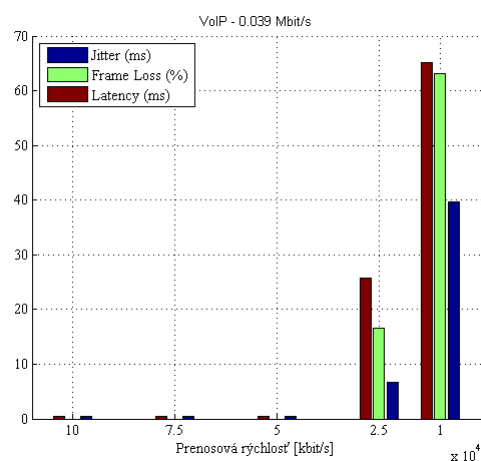
Obrázok 2.6: Dáta 10 Mbit/s.



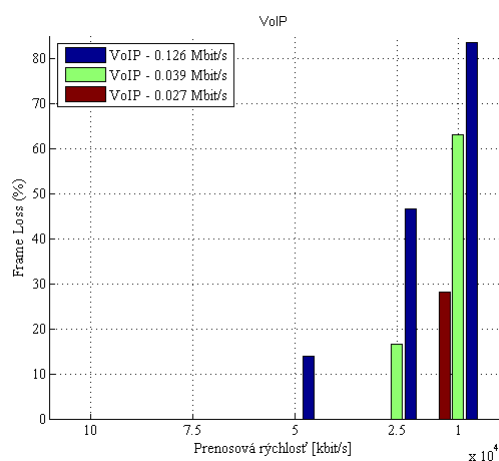
Obrázok 2.7: VoIP 0,126 Mbit/s.



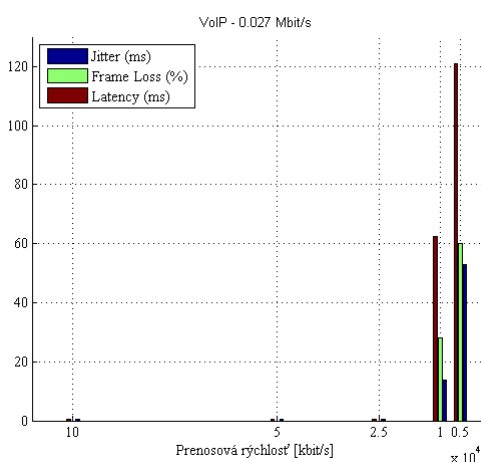
Obrázok 2.8: Video.



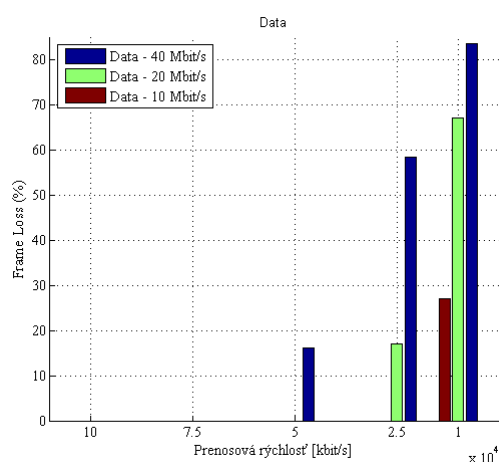
Obrázok 2.9: VoIP 0,039 Mbit/s.



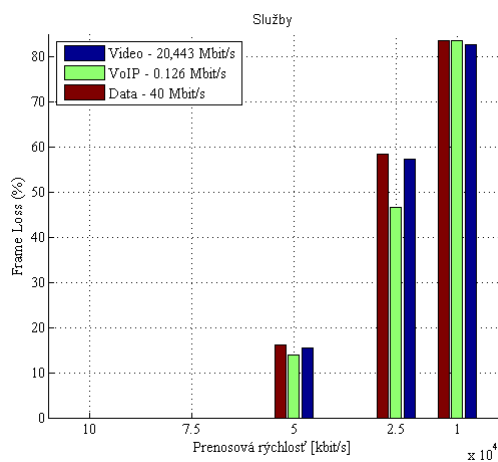
Obrázok 2.10: VoIP.



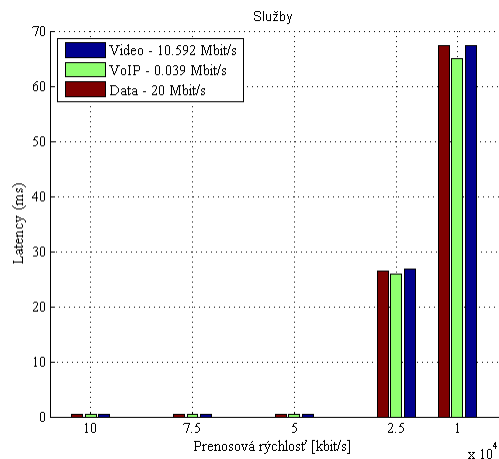
Obrázok 2.11: VoIP 0,027 Mbit/s.



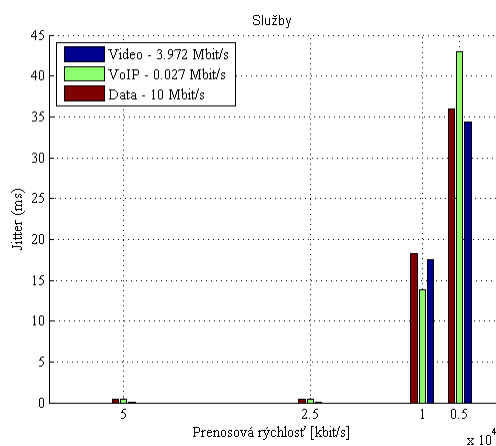
Obrázok 2.12: Dáta.



Obrázok 2.13: Služby.

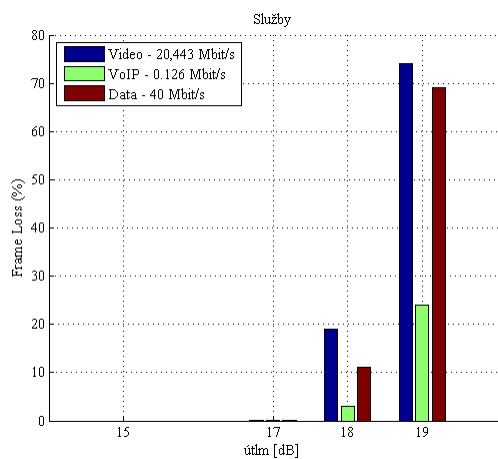


Obrázok 2.14: Služby.

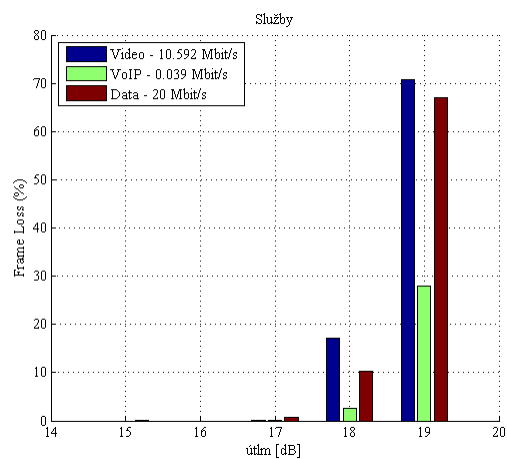


Obrázok 2.15: Služby.

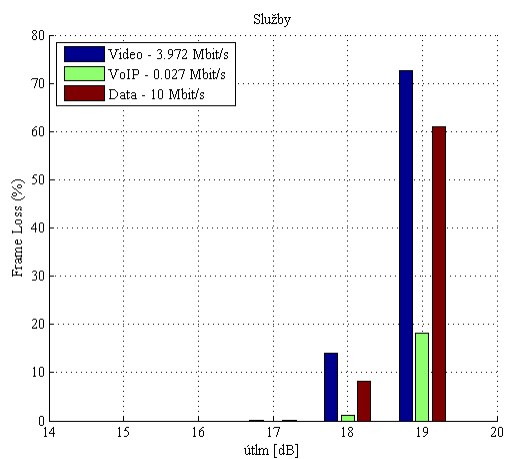
2. Vplyv útlmu siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



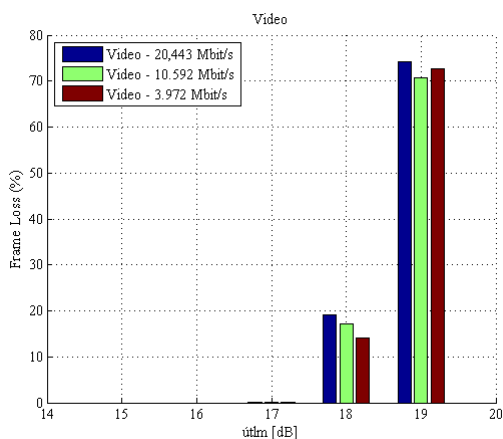
Obrázok 2.16: Služby.



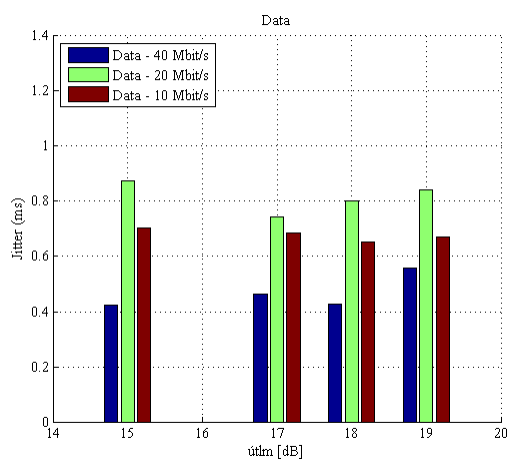
Obrázok 2.17: Služby.



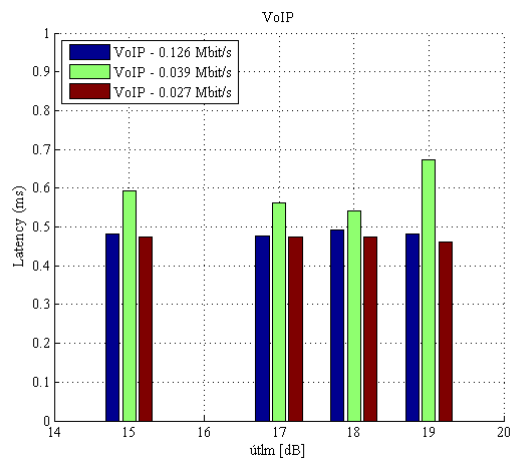
Obrázok 2.18: Služby.



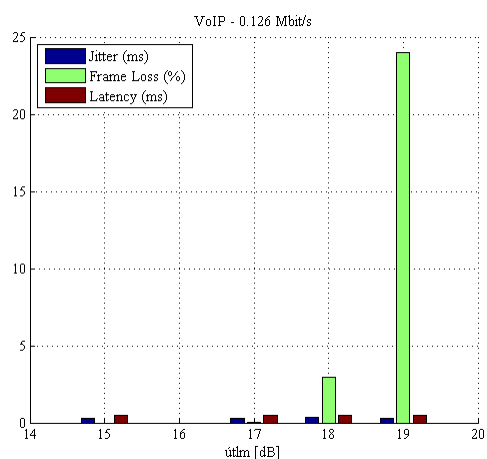
Obrázok 2.19: Video.



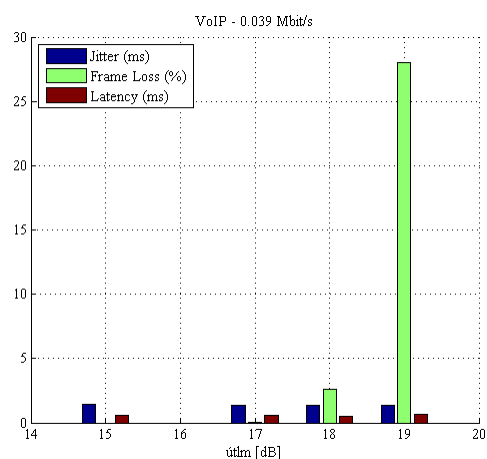
Obrázok 2.20: Dáta.



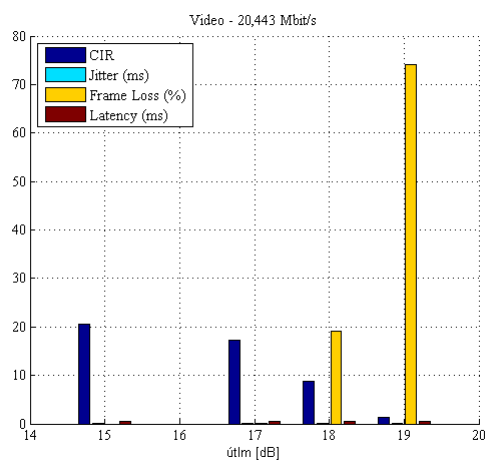
Obrázok 2.21: VoIP.



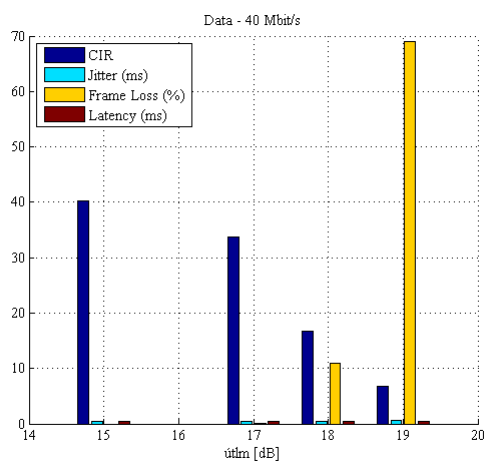
Obrázok 2.22: VoIP 0,126 Mbit/s.



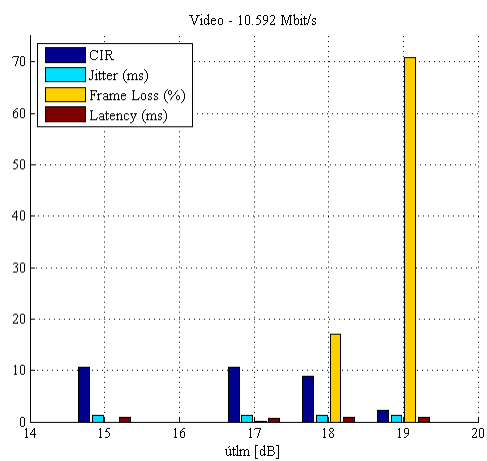
Obrázok 2.23: VoIP 0,039 Mbit/s.



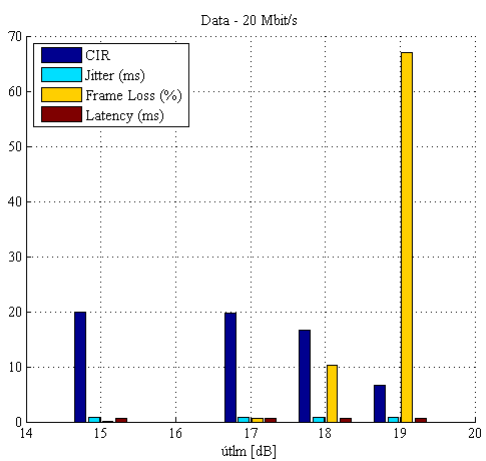
Obrázok 2.24: Video 20,443 Mbit/s.



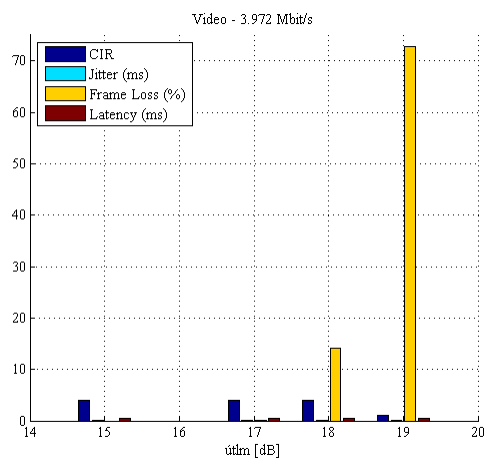
Obrázok 2.25: Dáta 40 Mbit/s.



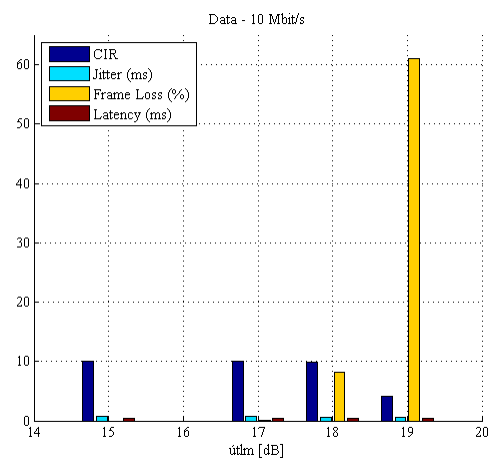
Obrázok 2.26: Video 10,592 Mbit/s.



Obrázok 2.27: Dáta 20 Mbit/s.



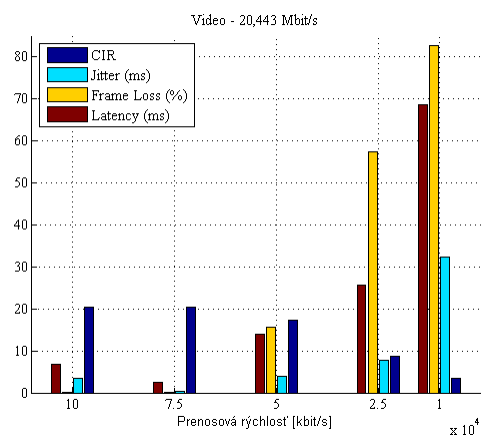
Obrázok 2.28: Video 3,972 Mbit/s.



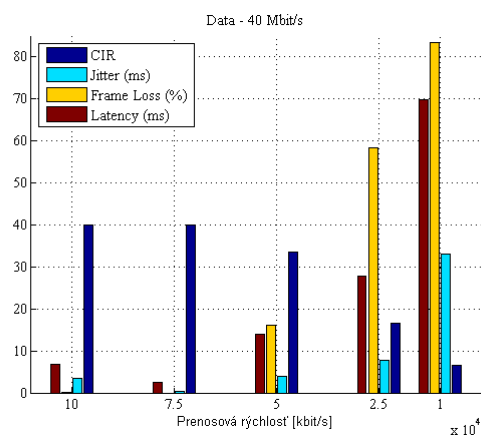
Obrázok 2.29: Dáta 10 Mbit/s.

Nasadenie WDM-PON na stavajúcu sieť GePON

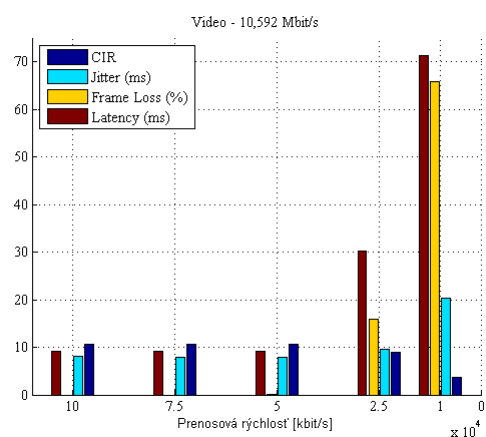
1. Vplyv priepustnosti siete na testovacie parametre Triple Play služieb



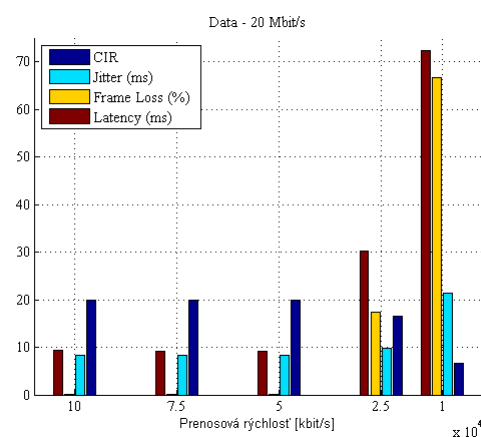
Obrázok 2.30: Video 20,443 Mbit/s.



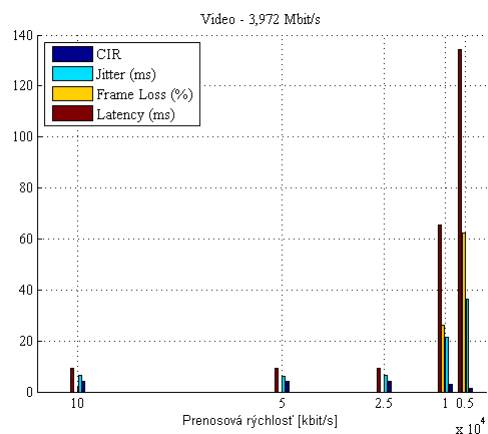
Obrázok 2.31: Dáta 40 Mbit/s.



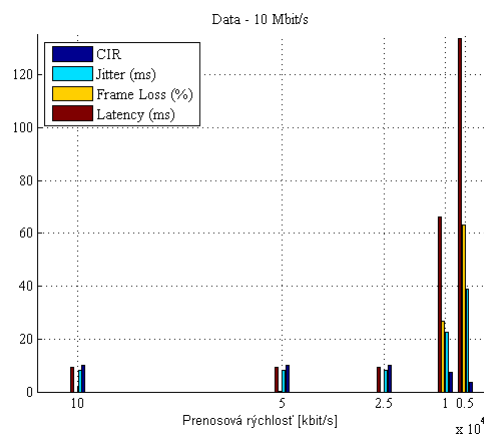
Obrázok 2.32: Video 10,592 Mbit/s.



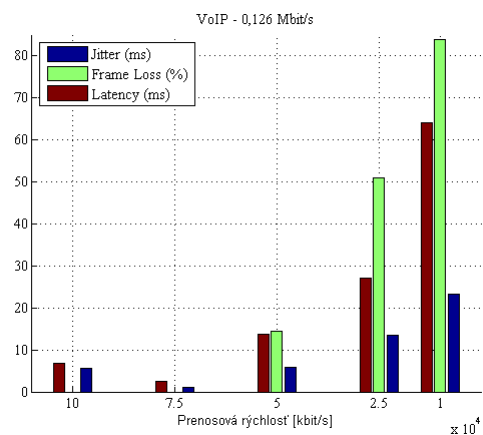
Obrázok 2.33: Dáta 20 Mbit/s.



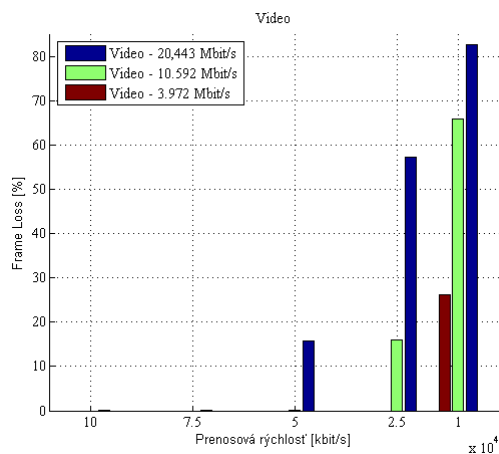
Obrázok 2.34: Video 3,972 Mbit/s.



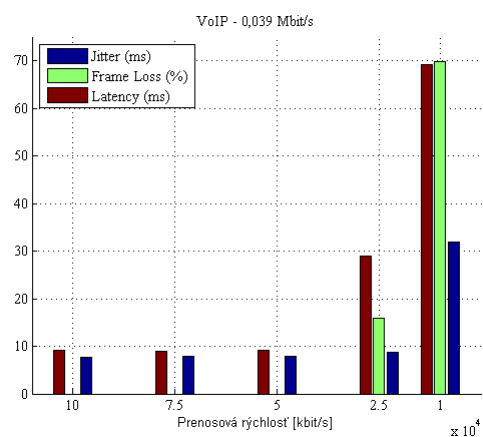
Obrázok 2.35: Dáta 10 Mbit/s.



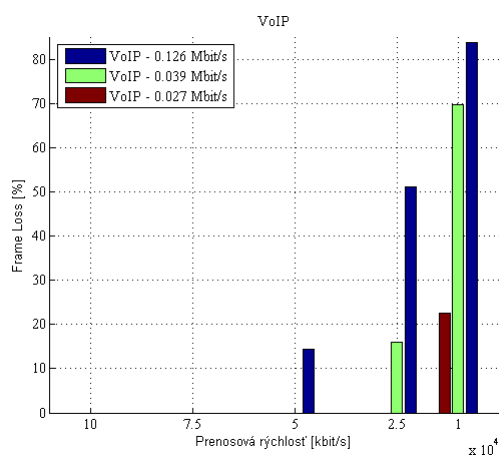
Obrázok 2.36: VoIP 0,126 Mbit/s.



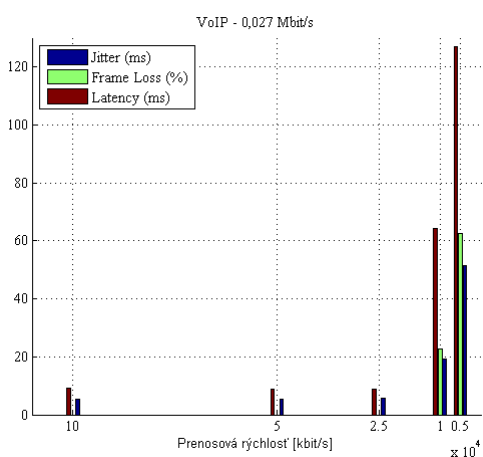
Obrázok 2.37: Video.



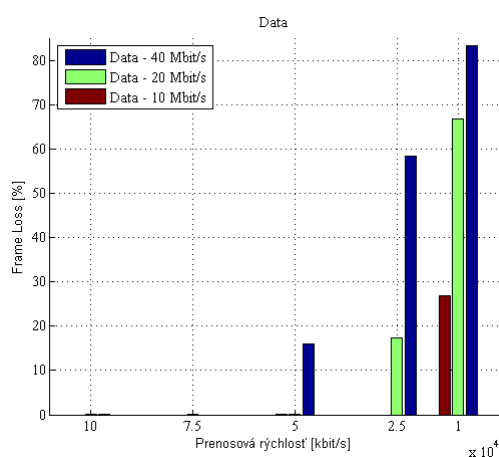
Obrázok 2.38: VoIP 0,039 Mbit/s.



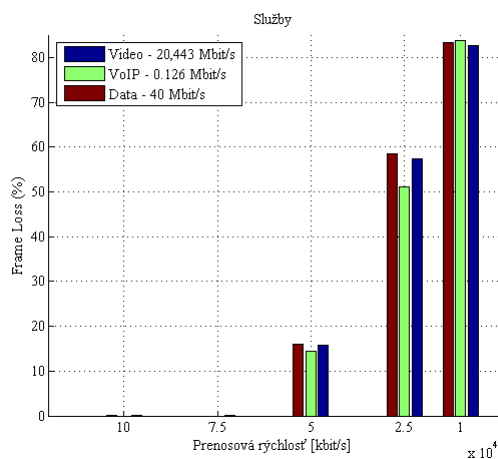
Obrázok 2.39: VoIP.



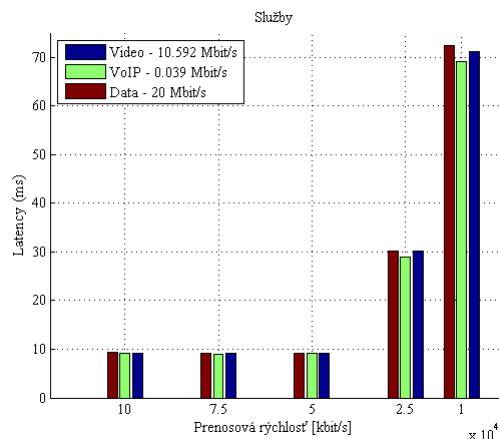
Obrázok 2.40: VoIP 0,027 Mbit/s.



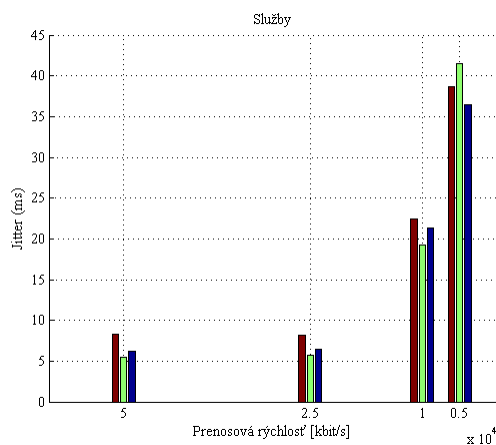
Obrázok 2.41: Dáta.



Obrázok 2.42: Služby.

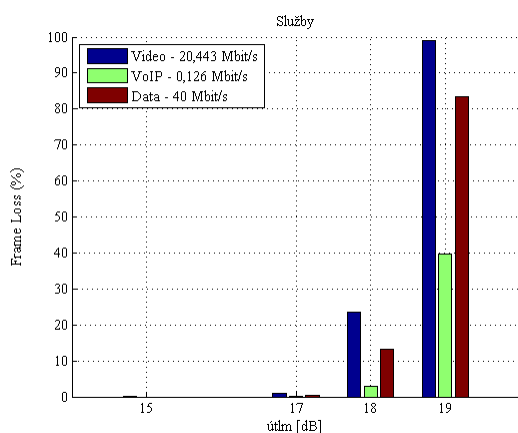


Obrázok 2.43: Služby.

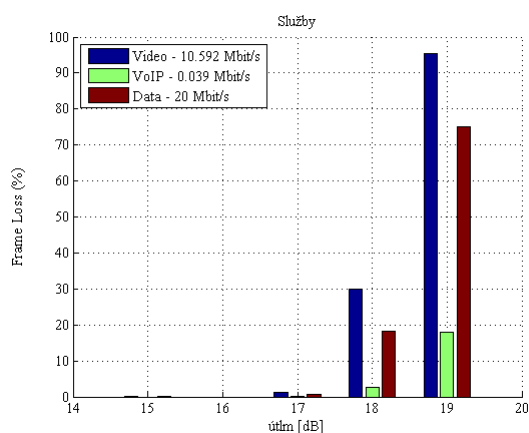


Obrázok 2.44: Služby .

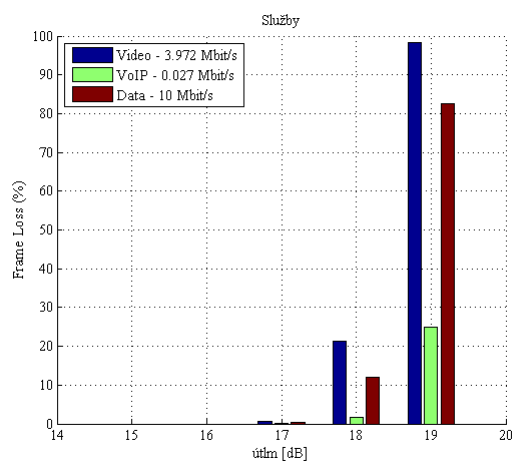
2. Vplyv útlmu siete na testovacie parametre Triple Play služieb.



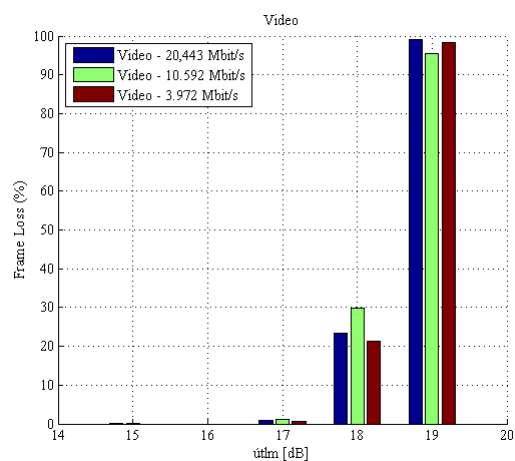
Obrázok 2.45: Služby.



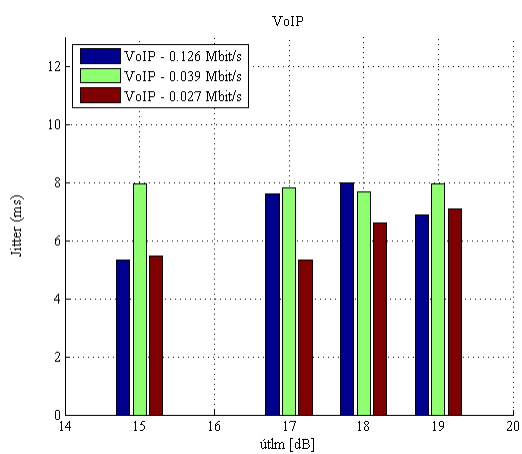
Obrázok 2.46: Služby.



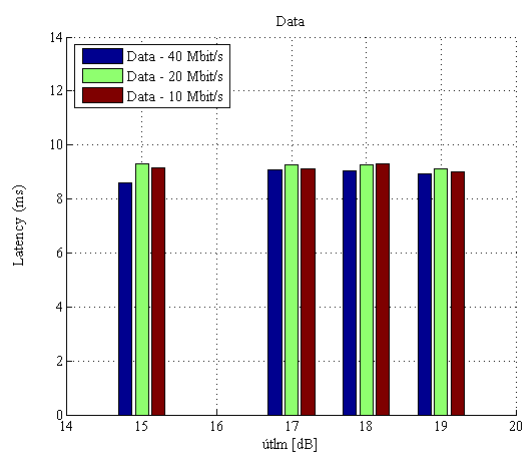
Obrázok 2.47: Služby.



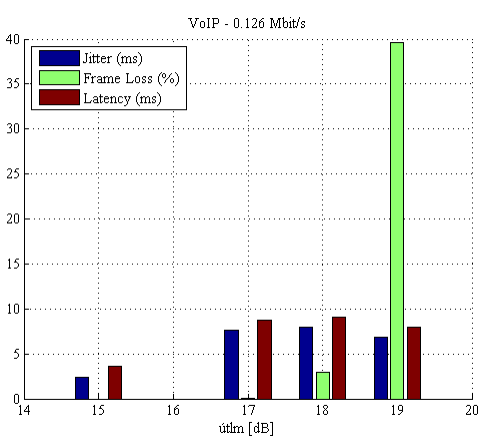
Obrázok 2.48: Video.



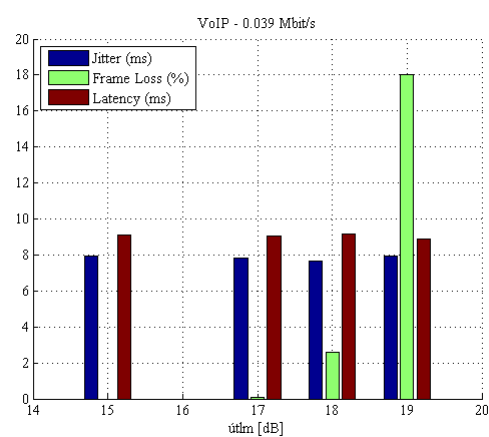
Obrázok 2.49: VoIP.



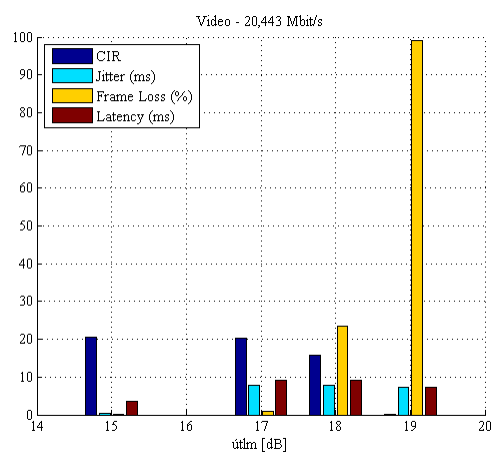
Obrázok 2.50: Dáta.



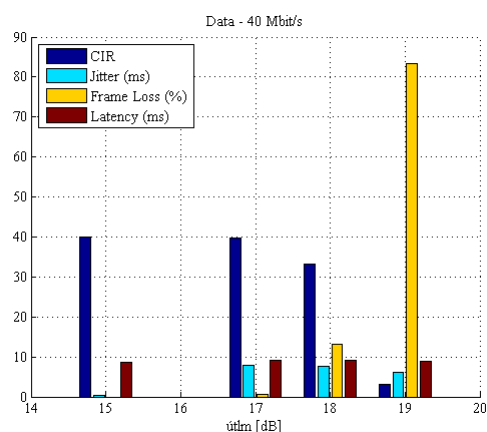
Obrázok 2.51: VoIP 0,126 Mbit/s.



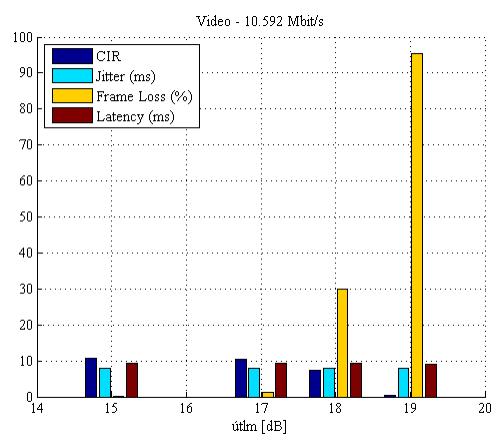
Obrázok 2.52: VoIP 0,039 Mbit/s.



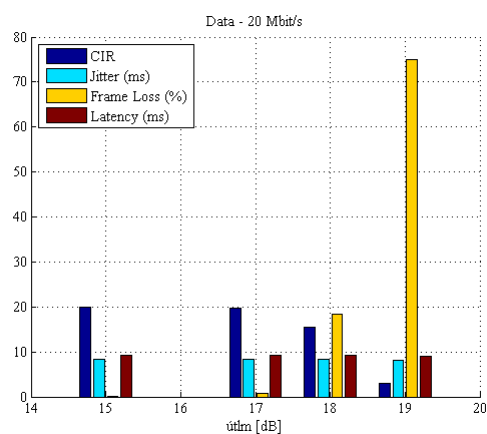
Obrázok 2.53: Video 20,443 Mbit/s.



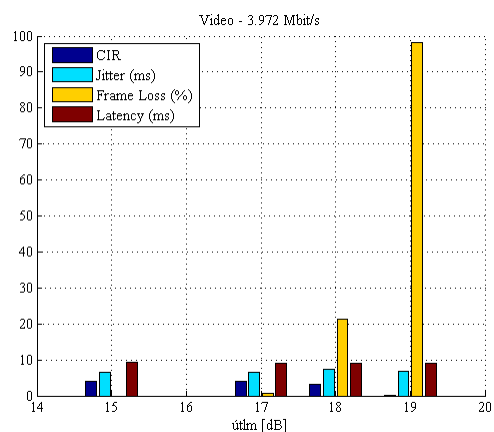
Obrázok 2.54: Dáta 40 Mbit/s.



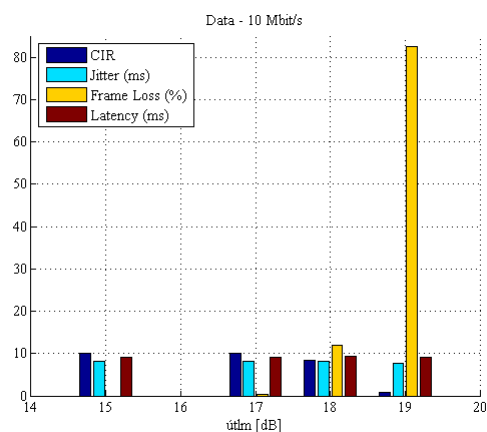
Obrázok 2.55: Video 10,592 Mbit/s.



Obrázok 2.56: Dáta 20 Mbit/s.



Obrázok 2.57: Video 3,972 Mbit/s.



Obrázok 2.58: Dáta 10 Mbit/s.